

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 339**

51 Int. Cl.:  
**G01N 27/417** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2021** **PCT/EP2021/059403**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **28.10.2021** **WO21213826**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2021** **E 21719549 (4)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2025** **EP 4139670**

54 Título: **Procedimiento para determinar una concentración de oxígeno en un gas residual**

- 30 Prioridad:  
**21.04.2020 DE 102020205020**  
45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**30.05.2025**

- 73 Titular/es:  
**ROBERT BOSCH GMBH (100.00%)**  
**Postfach 30 02 20**  
**70442 Stuttgart, DE**  
72 Inventor/es:  
**DAECKE, DIRK y**  
**FIEDLER, MICHAEL**  
74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 3 023 339 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para determinar una concentración de oxígeno en un gas residual

Estado de la técnica

5 Por el estado de la técnica, solicitud DE 10 2015 201 396 A1, ya se conoce un elemento sensor para la medición de una concentración de oxígeno en un gas residual. El elemento sensor presenta un electrolito sólido, un primer electrodo, un segundo electrodo, un tercer electrodo y un cuarto electrodo. El primer electrodo y el segundo electrodo están conectados con el electrolito sólido de manera que el primer electrodo, el segundo electrodo y el electrolito sólido forman una célula de bombeo. El tercer electrodo y el cuarto electrodo están conectados con el electrolito sólido de manera que el tercer electrodo, el cuarto electrodo y el electrolito sólido forman una célula de Nernst. El sensor presenta además un circuito de regulación para regular una tensión de Nernst de la célula de Nernst. El circuito de regulación presenta un aparato de regulación que presenta una variable de ajuste, una primera variable de regulación y una segunda variable de regulación, donde la variable de ajuste es una variable de salida suministrada a la célula de bombeo, la primera variable de regulación es la tensión de Nernst de la célula de Nernst, y la segunda variable de regulación es una tensión en el primer electrodo.

Otros elementos de sensor o procedimientos para medir una concentración de oxígeno en un gas residual se conocen por las solicitudes DE 10 2015 206 867 A1, DE 10 2018 203 313 A1, WO 2018/166677 A1, WO 02/04792 A1 y US 2009/145778 A1.

Ventajas de la invención

20 La presente invención se basa en el conocimiento de los inventores, con respecto a que la utilización, prevista en el estado de la técnica, de la tensión en el primer electrodo como variable de regulación presenta el problema de que esa variable, en el caso de gases residuales en el rango de  $\lambda=1$  (por tanto, gases residuales que resultan de una combustión, en donde el oxígeno y el combustible se encuentran en una relación estequiométrica), en gran medida de forma no lineal, depende de la concentración de oxígeno en el gas residual, de manera que en el caso de una concentración de oxígeno en el gas residual que corresponda a una mezcla de aire- combustible suministrada a la combustión correspondiente, de  $\lambda=1$ , resulta una falla del regulador que por un cierto tiempo conduce a una detección incorrecta de la concentración de oxígeno en el gas residual.

30 La presente invención según la reivindicación 1 va más allá de esas ideas conocidas y hace referencia a un procedimiento para determinar una concentración de oxígeno en un gas residual con un elemento sensor. Se parte del hecho de que el elemento sensor utilizado en el procedimiento según la invención presenta las siguientes características estructurales: En su interior, una cavidad que, mediante una abertura de acceso, está conectada al gas residual, en su interior, además, un espacio de referencia que está separado de la cavidad, una célula de bombeo electroquímica que presenta un primer electrodo que, del lado externo del elemento sensor, está expuesto al gas residual, y presenta un segundo electrodo que está dispuesto en la cavidad, y presenta un primer electrolito sólido, mediante el que el primer electrodo está conectado al segundo electrodo, con conducción de iones de oxígeno, una célula de Nernst electroquímica que presenta un tercer electrodo que está dispuesto en la cavidad, y presenta un cuarto electrodo que está dispuesto en el espacio de referencia, y presenta un segundo electrolito sólido, mediante el que el tercer electrodo está conectado al cuarto electrodo, con conducción de iones de oxígeno.

Por ejemplo, puede tratarse de un elemento sensor cerámico plano, como básicamente ya se conoce por el estado de la técnica, por ejemplo por la solicitud DE 10 2015 201 396 A1, mencionada en la introducción.

45 El electrolito sólido, por ejemplo, puede tratarse de áreas del elemento sensor cerámico, que se componen de óxido de circonio (YSZ) estabilizado con itrio y, por tanto, que en rangos de temperatura aumentados presentan una conductividad para iones de oxígeno.

El segundo electrolito sólido puede estar diseñado separado del primer electrolito sólido o en un plano de capas en común del elemento sensor, desde un área relacionada del elemento sensor, de un material de electrolito sólido (por ejemplo YSZ).

50 Los electrodos, por ejemplo, pueden consistir en electrodos Cermet, que presentan una parte cerámica y una parte de un metal noble. El metal noble puede tratarse de platino. La actividad catalítica de los electrodos puede seleccionarse de forma adecuada mediante partes de otros metales nobles o partes de otras sustancias, por ejemplo, puede estar reducida mediante una parte de oro.

Puede preverse que el tercer electrodo en la cavidad esté distanciado espacialmente del segundo electrodo. Por ejemplo, el tercer electrodo en la cavidad puede estar más o mucho más distanciado espacialmente del segundo electrodo (por ejemplo al menos dos o tres veces más lejos) en una dirección lateral, que lo correspondiente a una altura (por tanto, perpendicularmente a la dirección lateral) de la cavidad.

5 Además, puede preverse que el centroide del tercer electrodo en la cavidad esté distanciado espacialmente del centroide del segundo electrodo. Por ejemplo, el centroide del tercer electrodo en la cavidad puede estar mucho más distanciado espacialmente del centroide del segundo electrodo (por ejemplo al menos dos o cinco veces más lejos) en una dirección lateral, que lo correspondiente a una altura (por tanto, perpendicularmente a la dirección lateral) de la cavidad.

10 En el procedimiento según la invención se prevé que la concentración de oxígeno que se encuentra en la cavidad se regule a un valor constante, de manera que se detecta una señal de la tensión de Nernst que representa la tensión de Nernst que se conforma en la célula de Nernst, se detecta o determina al menos otra variable, a partir de la señal de la tensión de Nernst y de al menos otra variable se determina una señal compensada, una señal de error se determina como diferencia de un valor objetivo y de la señal compensada, la señal de error se suministra a un regulador como variable de entrada, la variable de salida del regulador se aplica en la célula de bombeo, de manera que resulta un flujo de corriente a través de la célula de bombeo. Se prevé además que una señal que representa el flujo de corriente a través de la célula de bombeo se emita como variable de medición de la concentración de oxígeno en el gas residual.

20 Una señal, en particular una señal de la tensión de Nernst que representa la tensión de Nernst que se conforma en la célula de Nernst, por una parte, puede tratarse de una señal analógica, cuyo valor sea idéntico a la tensión de Nernst. Sin embargo, también puede tratarse de una señal analógica que resulte inequívoca a partir de la tensión de Nernst, por tanto, por ejemplo, que sea proporcional a la tensión de Nernst. También puede tratarse de la representación digital de las señales mencionadas.

25 Por analógica, a este respecto, debe entenderse una señal que representa el flujo de corriente a través de la célula de bombeo. Como señal analógica, puede estar dada de forma idéntica a través de la corriente, pero también puede tratarse de una señal analógica que resulte inequívoca a partir de la corriente, por ejemplo, por ejemplo, la disminución de tensión mediante una resistencia de medición por la que circula la corriente y que en general es proporcional a la corriente. También puede tratarse de una señal que, por ejemplo, se genera en un procesamiento de señales del regulador explicado, y según la cual (por ejemplo, de forma proporcional a la misma) se provoca un flujo de corriente a través de la célula de bombeo. También puede tratarse de la representación digital de las señales mencionadas.

30 Por analógica, a este respecto, debe entenderse una señal que representa la tensión en la célula de bombeo. Como señal analógica, puede estar dada de forma idéntica a través de la tensión entre el primer electrodo y el segundo electrodo, pero también puede tratarse de una señal analógica que resulte inequívoca a partir de la tensión, por tanto, la corriente mediante una resistencia de medición, en donde se aplica la tensión y que depende de la tensión (por ejemplo, es proporcional a la misma). También puede tratarse de la representación digital de las señales mencionadas.

35 El valor objetivo, por una parte, puede tratarse de un valor predeterminado de forma fija. Por otra parte, también puede tratarse de un valor que, aunque no sea completamente constante, sin embargo, varía muy poco (por ejemplo menos de 1%) dentro de una constante de tiempo (por ejemplo 1s) que caracteriza la regulación, por ejemplo como reacción a ciertos eventos externos, como para la compensación de efectos de envejecimiento o variaciones de temperatura del elemento sensor o de una unidad de evaluación que trabaja junto con el elemento sensor, o por ejemplo como reacción a una variación de la presión parcial de oxígeno en el aire ambiente del elemento sensor.

45 También pueden estar previstas otras clases de funcionamiento (por ejemplo, clase de funcionamiento normal, clase de funcionamiento de inicialización, clase de funcionamiento de calibración automática, etc.), donde dentro de la respectiva clase de funcionamiento está proporcionado un valor individual, pero fijo (o que sólo varía muy lentamente, véase lo anterior), como valor objetivo.

50 Al menos otra variable puede ser una única variable que no sea la tensión de Nernst ni tampoco la variable que representa la tensión de Nernst. Puede tratarse de una señal de corriente de bombeo, que representa un flujo de corriente a través de la célula de bombeo; o de una señal de la célula de bombeo, que representa una tensión en la célula de bombeo.

En otro perfeccionamiento de la invención, sin embargo, también puede excluirse expresamente que la otra variable sea o comprenda una señal de la célula de bombeo que represente una tensión en la célula de

bombeo. De manera alternativa, también puede excluirse expresamente que la otra variable, como una única variable, sea una señal de la célula de bombeo que represente una tensión en la célula de bombeo.

Si se excluye expresamente que la otra variable, junto con otras variables adicionales, sea la tensión en el primer electrodo; y/o se excluye expresamente que la otra variable, una única otra variable, sea la tensión en el primer electrodo, entonces en ambos casos esto ofrece la ventaja de que, esta variable, que en parte depende de forma muy no lineal de la concentración de oxígeno en el gas residual, no está incluida o no está incluida sola en la señal compensada.

Al menos otra variable puede ser una pluralidad de variables, de las que cada una no es la tensión de Nernst ni tampoco la variable que representa la tensión de Nernst. La pluralidad de variables puede ser dos variables, tres variables o más de tres variables. Puede preverse que la pluralidad contenga al menos dos de las siguientes variables: una señal de corriente de bombeo, que representa un flujo de corriente a través de la célula de bombeo; una señal de la célula de bombeo, que representa una tensión en la célula de bombeo.

En tanto al menos otra variable consista en una pluralidad de variables, la característica de que una señal compensada se determine a partir de la señal de la tensión de Nernst y de al menos otra variable, significa que la señal compensada se determina a partir de la señal de la tensión de Nernst y de cualquier variable individual que esté contenida en la pluralidad de variables; es decir, que la señal compensada depende de la señal de la tensión de Nernst y de cada variable contenida en la pluralidad de variables.

En particular puede preverse que al regulador se suministre la señal de error como única variable de entrada del regulador. En particular puede preverse que el regulador sólo tenga una única variable de salida, a saber, la variable de salida que se aplica en la célula de bombeo (eventualmente después de una amplificación), de manera que resulte un flujo de corriente a través de la célula de bombeo.

La variable de salida del regulador, así como la única variable de salida del regulador, por ejemplo, puede tratarse de una tensión proporcionada o de una corriente proporcionada. Mientras que la utilización de una tensión proporcionada ofrece la ventaja de que la misma puede realizarse con medios sencillos, la utilización de una corriente proporcionada, en este caso, ofrece la ventaja de un circuito de regulación más estable.

En la invención, se toma como base el conocimiento de que dentro del elemento sensor, así como dentro de la cavidad, desde la perspectiva de la tecnología de regulación, se producen tiempos de propagación. Si mediante la célula de bombeo se transporta oxígeno hacia el interior de la cavidad (o hacia fuera de la cavidad), debido a ello, si bien entonces se modifica inmediatamente la concentración de oxígeno en el área de la célula de bombeo, por tanto, en el área del segundo electrodo, sin embargo, la tensión de Nernst no se modifica inmediatamente, sino sólo cuando la concentración de oxígeno en la cavidad también se ha modificado en el área de la célula de Nernst, por tanto, en el área del tercer electrodo. En función de la geometría de la cavidad y de la disposición del segundo y del tercer electrodo relativamente uno con respecto a otro en la cavidad, con ello, transcurre un cierto tiempo hasta que dentro de la cavidad se producen variaciones de la concentración de oxígeno en la célula de bombeo (segundo electrodo), también en la célula de Nernst (tercer electrodo).

Fundamentalmente, los tiempos de propagación dentro de una sección de regulación reducen el ancho de banda de regulación posible, por tanto, la dinámica con la que puede regularse de forma estable. En este caso, esto se aplica para la tensión de Nernst como variable de regulación, del modo antes descrito.

Sin embargo, ahora la presente invención no se basa en utilizar la tensión de Nernst como variable de regulación, sino la señal compensada. La señal compensada, mejor que la tensión de Nernst, representa la concentración de oxígeno en toda la cavidad, ya que junto con la tensión de Nernst considera al menos otra variable y, debido a ello, compensa los efectos del tiempo de propagación dentro de la cavidad, por así decirlo, mediante su anticipación de cálculo, partiendo desde la señal de la tensión de Nernst.

La corriente de bombeo y señales que la representan, contienen la información sobre oxígeno que momentáneamente se inserta en la cavidad, en el área de la célula de bombeo. La utilización de la corriente de bombeo como al menos otra variable, de este modo, brinda la posibilidad de representar variaciones de la concentración de oxígeno en la cavidad en la señal compensada, incluso antes de que la tensión de Nernst haya cambiado en correspondencia con las variaciones en la concentración de oxígeno en la cavidad. Expresado de otro modo: En la señal compensada, se anticipa la variación futura de la tensión de Nernst.

Una señal de la célula de bombeo, que representa una tensión en la célula de bombeo, por una parte, puede

ser la "tensión de Nernst"  $U_{NP1}$ , que resulta según la relación

$$U_{NP1} = \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{P_{O_2, \text{Nernst}}}{P_{O_2, \text{bombeo}}} \right)$$

donde  $P_{P1APEO2}$  es la presión parcial de oxígeno en el primer electrodo y  $P_{COM IPE O2}$ , la presión parcial en el segundo electrodo, por tanto, en el gas residual. Por tanto, en cuanto al aspecto físico, esa diferencia de potencial se trata efectivamente de una "tensión de Nernst". En el marco de la invención, sin embargo, solamente la tensión entre el tercer electrodo y el cuarto electrodo se denomina como tensión de Nernst.

5 Una señal de la célula de bombeo, que representa una tensión en la célula de bombeo, sin embargo, también puede ser la variable  $U_{P1} = U_{NP1} + I_{P1} \cdot R_{P1}$ , por tanto, la suma de la "tensión de Nernst"  $U_{NP1}$  y de la disminución de tensión causada por la corriente de bombeo  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo y por la resistencia óhmica  $R_{P1}$  de la célula de bombeo.

10 Una señal de la corriente de bombeo, por otra parte, también puede ser la variable  $U_{NP1} - U_{P1}$ , por tanto  $I_{P1} \cdot R_{P1}$ , ya que esa señal de la corriente de bombeo representa una corriente que circula por la célula de bombeo.

15 Puesto que la cavidad, mediante una abertura de acceso, está conectada al gas residual, la cantidad de oxígeno transportada hacia la cavidad o desde la cavidad, es proporcional a la diferencia de presión parcial entre el gas residual y la cavidad. Puesto que la misma precisamente también se manifiesta en la señal de la célula de bombeo, la señal de la célula de bombeo es otra variable que puede utilizarse para formar una señal compensada que pueda representar la concentración de oxígeno en la cavidad de forma más precisa y dinámica, que la tensión de Nernst por sí sola.

20 Mediante la utilización de la señal compensada, retrasada en el tiempo, como al menos otra variable, puede realizarse una realimentación, mediante la que puede optimizarse la dinámica y la estabilidad de la compensación en cuanto a los procesos de transporte en el interior del elemento sensor. La compensación, expresada en el diagrama de tiempo y expresada de forma simplificada, por ejemplo, debe realizarse con la mayor precisión posible en la medida en que la tensión de Nernst represente de forma insuficiente la concentración de oxígeno efectiva en la cavidad.

25 En una realización de la invención digital discreta en el tiempo, los retardos en el tiempo se encuentran en el orden de magnitud de ciclos de exploración, por ejemplo  $T_s = 1$  ms. Esto es muy reducido comparado con las constantes de tiempo  $\tau$  del acoplamiento de gas entre el segundo y el tercer electrodo en el elemento sensor, que por ejemplo pueden ser de  $\tau = \text{aprox. } 1000$  ms o más.

Esa realimentación modifica la característica de frecuencia del sistema en su totalidad. La misma, por ejemplo, puede ser de banda estrecha o de banda ancha.

30 El elemento sensor puede tratarse de un sensor  $NO_x$ , que no sólo determina la concentración de oxígeno, sino también la concentración de óxido de nitrógeno en el gas residual. Ese sensor  $NO_x$  en particular presenta las siguientes características estructurales: en su interior, otra cavidad que está conectada a la cavidad, y otra célula de bombeo que presenta un quinto electrodo que está dispuesto en la otra cavidad, y presenta un sexto electrodo que está dispuesto por fuera de la otra cavidad, y presenta un tercer electrolito sólido que conecta uno con otro el quinto electrodo y el sexto electrodo, con conducción de iones de oxígeno.

40 La cavidad puede estar espacialmente separada de la otra cavidad, por ejemplo mediante un elemento de resistencia de difusión en forma de canal y/o con un relleno poroso. Puede preverse que el quinto electrodo se componga de un material catalíticamente más activo que el segundo y/o el tercer electrodo, de manera que el quinto electrodo  $NO_x$  pueda dividirse catalíticamente, pero no (o en un grado más reducido) el segundo y/o el tercer electrodo.

45 El tercer electrolito sólido puede estar diseñado separado del primer electrolito sólido o por ejemplo en un plano de capas en común del elemento sensor, de un área relacionada del elemento sensor, de un material de electrolito sólido (por ejemplo YSZ). El tercer electrolito sólido puede estar diseñado separado del segundo electrolito sólido o por ejemplo en un plano de capas en común del elemento sensor, de un área relacionada del elemento sensor, de un material de electrolito sólido (por ejemplo YSZ). El primer, el segundo y el tercer electrolito sólido también pueden estar diseñados todos juntos desde un área relacionada del elemento sensor, de un material de electrolito sólido (por ejemplo YSZ).

50 Ese sensor  $NO_x$  puede funcionar de manera que en la otra célula de bombeo se aplique una tensión eléctrica y que una variable que representa el flujo de corriente resultante a través de la segunda célula de bombeo se emita como variable de medición de la concentración de óxido de nitrógeno en el gas residual.

Puede tratarse de un sensor  $NO_x$  que solamente comprenda tres células electroquímicas, a saber, la célula de bombeo, la célula de Nernst y la otra célula de bombeo. De este modo, el sensor es especialmente sencillo y se beneficia particularmente de la presente invención.

También puede tratarse de un elemento sensor que, junto con las concentraciones de oxígeno y NOx, también pueda medir la concentración de NH3 y/u otras clases de gases en el gas residual.

Alternativamente, el elemento sensor, sin embargo, también puede tratarse de una sonda Lambda de banda ancha de dos células.

- 5 El elemento sensor puede tratarse de un elemento sensor que puede calentarse, que presenta un calentador por resistencia eléctrica que puede contactarse desde el exterior. El calentamiento, en particular puede realizarse de manera que se detecta una señal de temperatura que representa una temperatura del elemento sensor, se compara con un otro valor objetivo, y otro regulador controla un suministro eléctrico del calentador por resistencia eléctrica, de manera que el elemento sensor adopta la temperatura predeterminada. El otro valor objetivo, por ejemplo, puede corresponder a una temperatura del elemento sensor en el rango de 700°C a 800°C.

El otro valor objetivo puede tratarse de un valor predeterminado de forma fija o de un valor que se actualiza lentamente (más lentamente que lo dado mediante la constante de tiempo de la otra regulación) según ciertos eventos, por ejemplo según un envejecimiento del elemento sensor.

- 15 La variable de salida del regulador (eventualmente después de conversión digital-analógica y/o amplificación) puede ser una tensión que se aplica en la célula de bombeo, de manera que resulta un flujo de corriente a través de la célula de bombeo. Alternativamente, la variable de salida del regulador (eventualmente después de conversión digital-analógica y/o amplificación) puede ser una corriente. Para ello, es posible proporcionar una fuente de corriente controlada que se aplica en la célula de bombeo. El hecho de proporcionar una fuente de tensión controlada ofrece la ventaja de una menor complejidad. El hecho de proporcionar una fuente de corriente controlada, en este caso, puede ofrecer la ventaja de una regulación más estable.

- 25 En un perfeccionamiento importante de la invención se prevé que la señal compensada se determine a partir de la señal de tensión de Nernst y de al menos otra variable, a saber, como función de la señal de tensión de Nernst y de la señal que proviene de al menos otra variable, como resultado de filtrado de paso alto o de paso de banda. De ese modo, se puede optimizar aún más la aptitud de la señal compensada para representar de forma precisa y con una dinámica elevada la concentración de oxígeno en la cavidad.

- 30 En tanto al menos otra variable se trate de una pluralidad de variables, a partir de la pluralidad de variables primero puede determinarse una única variable de entrada q para el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda. La variable de salida z del filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda es entonces la señal que ha reaccionado, a partir de la cual, mediante una suma con la señal de la tensión de Nernst, se forma la señal compensada.

Por ejemplo, la variable de entrada q puede formarse a partir de una función lineal de la pluralidad de variables  $g_i$ , por tanto  $q = \sum c_i * g_i$ , con coeficientes  $c_i$  completamente distintos de cero. De manera alternativa,  $c_i$  individuales, pero no todos, pueden ser de cero.

- 35 La función para determinar la señal compensada x a partir de la señal z (variable de salida del filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda) y de la señal de la tensión de Nernst puede ser una formación de suma matemática simple, pero también puede estar prevista una formación de suma ponderada, de manera que la señal compensada x proviene de la señal de la tensión de Nernst  $U_{VS}$  y de la señal z, por ejemplo según  $x = k_1 * U_{VS} + k_2 * z$ , con coeficientes  $k_1$  y  $k_2$  distintos de cero.

- 40 Puede preverse que el filtrado de paso alto o de paso de banda esté optimizado en cuando al elemento sensor y al modo en el que éste funciona. La salida del filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda en particular está libre de componentes continuos. Esto refleja una situación en la que la influencia de la otra variable (por ejemplo de la corriente de bombeo) ya se considera correctamente para valores estáticos y para variaciones extremadamente lentas de la otra variable (por ejemplo de la corriente de bombeo) mediante el regulador, cuando la tensión de Nernst se utiliza como variable de regulación. En cuanto al caso estático o a las variaciones extremadamente lentas, esa compensación libre de componentes continuos, por tanto, evita una distorsión de la variable de regulación.

Además, en particular puede preverse que el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda atenúe componentes espectrales por debajo de 0,5 Hz, en al menos 3dB.

- 50 En particular, además puede preverse que el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda atenúe componentes espectrales de entre 2 Hz y 5 Hz, en menos de 3dB.

Las respectivas etapas del procedimiento pueden efectuarse en una unidad de evaluación y de control mediante componentes de procesamiento de señal analógicos o digitales. En cualquier caso, la unidad de evaluación y de control para realizar el procedimiento según la invención presenta lo siguiente: entradas, para detectar una señal de tensión de Nernst que representa la tensión de Nernst que se conforma en la célula de Nernst, una unidad de procesamiento de señales para determinar una señal compensada a partir de la señal de la tensión de Nernst y de al menos otra variable, un formador de diferencia para determinar una señal de error como una diferencia de un valor objetivo con la señal compensada, un regulador para suministrar al mismo la señal de error como variable de entrada, salidas para emitir la variable de salida del regulador a la célula de bombeo de manera que tenga lugar un flujo de corriente a través de la célula de bombeo, con la finalidad de regular a un valor constante la concentración de oxígeno que se encuentra en la cavidad, y para emitir una señal, que representa el flujo de corriente a través de la célula de bombeo, como variable de medición de la concentración de oxígeno en el gas residual.

La unidad de procesamiento de señales, el formador de diferencia y el regulador, por una parte, pueden estar realizados como distintos componentes separados físicamente unos de otros. Por otra parte, de forma completa o parcial, también pueden tratarse de funciones que están realizadas de forma conjunta dentro de una unidad informática.

#### Figuras

La Figura 1 muestra esquemáticamente un elemento sensor, conocido por el estado de la técnica, de una sonda lambda de banda ancha.

La Figura 2 muestra esquemáticamente un elemento sensor, conocido por el estado de la técnica, de un sensor NOx.

La Figura 3 muestra un sector de un elemento sensor, conocido por el estado de la técnica, de un sensor NOx.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de ejecución del procedimiento según la invención.

La Figura 5 muestra el elemento sensor de la Figura 2 conectado eléctricamente a un ejemplo de ejecución de una unidad de evaluación y de control según la invención.

La Figura 6, a modo de ejemplo, muestra la unidad de procesamiento de señales de la unidad de evaluación y de control de la Figura 5.

Las Figuras 7a, 7b muestran, a modo de ejemplo, las características del filtro de la unidad de procesamiento de señal de la Figura 6 (Figura 7a: respuesta de la amplitud;

Figura 7b: una progresión en el tiempo de una señal de entrada y de la señal de salida correspondiente).

Las Figuras 8a, 8b muestran valores de medición típicos, generados según la invención.

#### Descripción de los ejemplos de ejecución

La Figura 1 muestra esquemáticamente un elemento sensor 10 esencialmente ya conocido, de una sonda Lambda de banda ancha, en combinación con el cual, por ejemplo, puede realizarse el procedimiento según la invención, y en comparación con el cual, por ejemplo, puede operarse la unidad de evaluación y de control según la invención.

El elemento sensor 10, en su interior presenta una cavidad 30 que, mediante una abertura de acceso 32 y mediante una barrera de difusión porosa 34, está conectada fluidicamente a un gas residual 100. Además, en su interior presenta un espacio de referencia 38 en el que se encuentra un gas de referencia y que está separado de la cavidad 30, es decir que dentro del elemento sensor 10 no está conectado fluidicamente a la cavidad 30. El gas de referencia puede tratarse por ejemplo de aire o de oxígeno. El espacio de referencia 38, por ejemplo, está conectado fluidicamente con el aire del ambiente. No obstante, también puede tratarse de un espacio cerrado dentro del elemento sensor 10, en el que por ejemplo se mantiene una cierta presión parcial de oxígeno.

- El elemento sensor 10, además, presenta una célula de bombeo electroquímica 36. La célula de bombeo electroquímica 36 se compone de un primer electrodo 16 (también: electrodo de bombeo externo, APE), que en el lado externo del elemento sensor 10 está expuesto al gas residual 100, de forma directa o mediante una capa de protección permeable al gas, y de un segundo electrodo 18 (también: electrodo de bombeo interno IPE), que está dispuesto en la cavidad 30, y de un primer electrolito sólido 14a, mediante el cual el primer electrodo 16 está conectado al segundo electrodo 18, con conducción de iones de oxígeno.
- El elemento sensor 10, además, presenta una célula de Nernst 40. La célula de Nernst electroquímica 40 se compone de un tercer electrodo 20 (también: Electrodo de Nernst, NE), que está dispuesto en la cavidad 30, y de un cuarto electrodo 22 (también: electrodo de referencia RE) y de un segundo electrolito sólido 14b, mediante el cual el tercer electrodo 20 está conectado al cuarto electrodo 22, con conducción de iones de oxígeno.
- En este ejemplo, el primer electrolito sólido 14a y el segundo electrolito sólido 14b, en conjunto, están diseñados como un único cuerpo de electrolito sólido 14 relacionado. De manera alternativa, el primer electrolito sólido 14a y el segundo electrolito sólido 14b pueden estar aislados eléctricamente uno de otro, por ejemplo mediante una capa de óxido de aluminio.
- El elemento sensor 10, en este ejemplo, presenta además un calentador por resistencia eléctrica 44 que, con una capa de aislamiento 42, está eléctricamente aislado con respecto al cuerpo de electrolito sólido 14. Con el calentador por resistencia eléctrica 44, el cuerpo de electrolito sólido 14 puede calentarse a una temperatura en la que éste presenta una conductividad para iones de oxígeno, por ejemplo 780°C.
- El primer electrodo 16, el segundo electrodo 18, el tercer electrodo 20, el cuarto electrodo 22 y el calentador por resistencia eléctrica 44, mediante líneas de alimentación 15 del elemento sensor 10, pueden conectarse eléctricamente con salidas y entradas de un dispositivo de evaluación y de control 60 (véase la Figura 5).
- El principio de funcionamiento básico del elemento sensor 10 mostrado en la Figura 1, de una sonda Lambda de banca ancha, consiste en regular una concentración de oxígeno constante en la cavidad con la célula de bombeo 36 como elemento de ajuste y la célula de Nernst 40 como elemento de medición, y en utilizar la corriente de bombeo como variable de medición para la concentración de oxígeno  $\text{CO}_2$  en el gas residual 100.
- La Figura 2 muestra esquemáticamente un elemento sensor 10 esencialmente ya conocido por el estado de la técnica, de un sensor NOx, en combinación con el cual, por ejemplo, puede realizarse el procedimiento según la invención.
- Como el elemento sensor 10 mostrado en la Figura 1, el mismo en su interior presenta una cavidad 30 que, mediante una abertura de acceso 32 y mediante una barrera de difusión porosa 34, está conectada fluidicamente a un gas residual 100. Además, en su interior presenta un espacio de referencia 38 en el que se encuentra un gas de referencia y que está separado de la cavidad 30.
- El elemento sensor 10, además, presenta una célula de bombeo electroquímica 36. La célula de bombeo electroquímica 36 se compone de un primer electrodo 16 (también: electrodo de bombeo externo, APE), que en el lado externo del elemento sensor 10 está expuesto al gas residual 100, de forma directa o mediante una capa de protección permeable al gas, y de un segundo electrodo 18 (también: electrodo de bombeo interno IPE), que está dispuesto en la cavidad 30, y de un primer electrolito sólido 14a, mediante el cual el primer electrodo 16 está conectado al segundo electrodo 18, con conducción de iones de oxígeno.
- El elemento sensor 10, además, presenta una célula de Nernst 40. La célula de Nernst electroquímica 40 se compone de un tercer electrodo 20 (también: electrodo de Nernst, NE), que está dispuesto en la cavidad 30, y de un cuarto electrodo 22 (también: electrodo de referencia RE) y de un segundo electrolito sólido 14b, mediante el cual el tercer electrodo 20 está conectado al cuarto electrodo 22, con conducción de iones de oxígeno.
- El elemento sensor 10, además, en este ejemplo presenta un calentador por resistencia eléctrica 44.
- El primer electrodo 16, el segundo electrodo 18, el tercer electrodo 20, el cuarto electrodo 22 y el calentador por resistencia eléctrica 44, mediante líneas de alimentación 15 del elemento sensor 10, pueden conectarse eléctricamente con salidas y entradas de un dispositivo de evaluación y de control 60.
- Además, el elemento sensor 10 del sensor NOx, en su interior, presenta otra cavidad 31 que está conectada fluidicamente a la cavidad 30, por ejemplo mediante otra barrera de difusión porosa 35. El elemento sensor 10, además, presenta otra célula de bombeo electroquímica 37 (también: célula NOx) que comprende un quinto electrodo 24 (también: electrodo NOx, NOE), que está dispuesto en la otra cavidad 31, y un sexto



electrodo 26 (también: NOCE, electrodo de cámara NOx), que está dispuesto por fuera de la otra cavidad 31, y comprende un tercer electrolito sólido 14c, que conecta el quinto electrodo 24 y el sexto electrodo 26 uno con otro, con conducción de iones de oxígeno.

5 El tercer electrolito sólido 14c, como en este ejemplo, con el primer electrolito sólido 14a y el segundo electrolito sólido 14b, en conjunto, puede estar diseñado como un único cuerpo de electrolito sólido 14 relacionado. De manera alternativa, el primer electrolito sólido 14a, el segundo electrolito sólido 14b y el tercer electrolito sólido 14c, sin embargo, también pueden estar aislados eléctricamente uno de otro en forma de pares, o solamente uno de los tres electrolitos sólidos 14a, 14b, 14c mencionados podría estar aislado eléctricamente de los otros dos.

10 Se prevé que el quinto electrodo 24 se componga de un material catalíticamente más activo que el segundo y el tercer electrodo 18, 20, de manera que el quinto electrodo 24 NOx pueda dividirse catalíticamente, pero no (o apenas) el segundo y el tercer electrodo 18, 20. Por ejemplo, el segundo y el tercer electrodo 18, 20 pueden componerse de un cermet, cuyas partes metálicas respectivamente contienen tanto platino, como también oro, mientras que el quinto electrodo 24, como parte metálica, solamente contiene platino y nada de oro.

15 El principio de funcionamiento básico del elemento sensor 10 mostrado en la Figura 2, de un sensor NOx, en primer lugar, de forma similar al elemento sensor de un sensor Lambda de banda ancha explicado con relación a la Figura 1, consiste en regular una concentración de oxígeno constante en la cavidad 30 con la célula de bombeo 36 como elemento de ajuste y la célula de Nernst 40 como elemento de medición, y en utilizar la corriente de bombeo como variable de medición para la concentración de oxígeno  $C_{O_2}$  en el gas residual 100. En este caso (Figura 2: elemento sensor de un sensor NOx), sin embargo, esto tiene lugar con la condición de que la actividad catalítica del segundo y del tercer electrodo 18, 20, así como la tensión eléctrica aplicada en la célula de bombeo 36, esté reducida en cuanto a que primero no tenga lugar en absoluto, o en gran medida, una división electroquímica de moléculas NOx.

25 El principio de funcionamiento elemental del elemento sensor 10 de un sensor NOx, mostrado en la Figura 2, consiste además en dividir electroquímicamente moléculas de NOx en el quinto electrodo, en bombear electroquímicamente los átomos de oxígeno que se liberan de ese modo o los iones de oxígeno, con la otra célula de bombeo electroquímica 37, y en utilizar la otra corriente de bombeo que circula, como variable de medición para la concentración de NOx,  $C_{NOx}$ , en el gas residual 100. En tanto en la otra célula de bombeo electroquímica 37 también se divida y se bombee electroquímicamente oxígeno ( $O_2$ ) molecular restante, esto se incluye como parte en la otra corriente de bombeo. Puesto que la concentración de oxígeno, mediante la tensión de Nernst  $U_{vs}$  conformada en la célula de Nernst electroquímica 40, sin embargo, es bien conocida, esa parte se puede deducir mediante cálculos.

35 La Figura 3 muestra un sector del elemento sensor, esencialmente ya conocido por el estado de la técnica, de un elemento sensor 10 conocido, de un sensor NOx, en correspondencia con la Figura 2. En esa representación en sección se ilustran ciertas dimensiones del elemento sensor 10 de un sensor NOx.

40 Conforme a ello, la cavidad 30 es una cámara reducida o estrecha alargada en la dirección de flujo de gas residual que entra en el elemento sensor 10 a través de la abertura de acceso 32 y la barrera de difusión 34, y perpendicular a ello. En su parte 30a orientada hacia la abertura de acceso 32, el segundo electrodo 18 está extendido de forma plana. En su parte 30b apartada de la abertura de acceso, el tercer electrodo 20 está extendido de forma plana.

En el ejemplo se prevé que el centroide del tercer electrodo 20, en la cavidad 30, lateralmente (en la Figura 3, de izquierda a derecha), esté distanciados del centroide del segundo electrodo 18 al menos cinco veces en la medida en que corresponde a la altura (en la Figura 3 desde arriba hacia abajo) de la cavidad 30.

45 Ese dimensionamiento, por una parte, ofrece la ventaja de que la tensión de Nernst  $U_{vs}$  conformada en la célula de Nernst 40 es una medida precisa para la concentración de oxígeno en la otra célula de bombeo electroquímica 37 y, con ello, en base a la otra corriente de bombeo y a su compensación matemática, antes explicada, el contenido de NOx del gas residual 100 puede determinarse de forma precisa.

50 Por otra parte, debido al dimensionamiento, transcurre un cierto tiempo hasta que dentro de la cavidad 30 se producen y, con ello se detectan, variaciones de la concentración de oxígeno que tienen lugar en la abertura de acceso 32 o en la célula de bombeo 36 (segundo electrodo 18), también en la célula de Nernst 40 (tercer electrodo 20). La estabilización de una concentración de oxígeno constante en la cavidad 30 mediante el circuito de regulación antes explicado y la determinación del contenido de oxígeno  $C_{O_2}$  del gas residual 100, con ello, se dificulta o es poco dinámica.

El procedimiento y el dispositivo según la presente invención, que están representados de forma ilustrativa en las Figuras 4 y 5, permiten superar esa deficiencia. Para ello, en primer lugar se prevé que la concentración de oxígeno que se encuentra en la cavidad 30 se regule a un valor constante, por ejemplo en las siguientes etapas del procedimiento V1 a V6

- 5 - En la primera etapa del procedimiento V1, una unidad de evaluación y de control 60 conectada a las líneas de alimentación 15 correspondientes del elemento sensor 10 mediante sus entradas 61 y sus convertidores analógico-digital 67, detecta una señal de la tensión de Nernst que representa la tensión de Nernst  $U_N$  que se conforma en la célula de Nernst 40.
- 10 - En una segunda etapa del procedimiento V2, la unidad de evaluación y control 60 detecta al menos otra variable  $p$ , por ejemplo mediante entradas 61 y convertidores analógico-digital 67 correspondientes, que están conectados con las líneas de alimentación 15 correspondientes del elemento sensor 10.
- En una tercera etapa del procedimiento V3, una unidad de procesamiento de señales 63 de la unidad de evaluación y control 60, a partir de la señal de tensión de Nernst y de al menos otra variable  $p$ , determina una señal compensada  $x$ .
- 15 - En una cuarta etapa del procedimiento V4, un formador de diferencia 64 de la unidad de evaluación y control 60, determina una señal de error  $e$  como diferencia de un valor objetivo  $r$  y de la señal compensada  $x$ .
- En una quinta etapa del procedimiento V5, la señal de error  $e$  se suministra como variable de entrada a un regulador 62 (por ejemplo regulador PID).
- 20 - En una sexta etapa del procedimiento V6, la variable de salida  $u$  del regulador 62 se aplica a la célula de bombeo 36, de manera que resulta un flujo de corriente  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo 36.

La variable de salida del regulador 62, en este caso, puede ser idéntica al flujo de corriente  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo 36. Por otra parte, la variable de salida del regulador 62 también puede tratarse de una tensión de bombeo o de una variable digital que se aplica a la célula de bombeo 36 mediante un convertidor digital-analógico 66.

- 25 En una séptima etapa del procedimiento V7 se prevé que una señal que representa el flujo de corriente  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo 36 se emita como variable de medición de la concentración de oxígeno  $c_{O2}$  en el gas residual 100, mediante salidas 65 de la unidad de evaluación y de control 60, por ejemplo a un aparato del motor conectado a la unidad de evaluación y de control 60.

Además, en este ejemplo se prevé lo siguiente:

- 30 - En una octava etapa del procedimiento V8, mediante salidas 65 de la unidad de evaluación y control 60 y mediante líneas de alimentación 15 correspondientes del elemento sensor 10, una tensión eléctrica  $U_{P2}$  se aplica a la otra célula de bombeo 37.
- 35 - En una novena etapa del procedimiento V9, se emite una variable que representa el flujo de corriente  $I_{P2}$  resultante a través de la otra célula de bombeo 37, como variable de medición de la concentración de óxido de nitrógeno  $c_{NOx}$  en el gas residual 100, mediante salidas 65 de la unidad de evaluación y de control 60, por ejemplo a un aparato del motor conectado a la unidad de evaluación y de control 60.

- 40 Al menos otra variable  $p$ , por ejemplo, se trata de una única variable, por ejemplo de una señal de corriente de bombeo que representa el flujo de corriente  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo 36, o de una señal de la célula de bombeo que representa la tensión  $U_{P1}$  en la célula de bombeo 36, o de la variable de salida  $u$  del regulador 62.

- 45 Al menos otra variable  $p$  puede tratarse también de dos variables (o de una pluralidad de variables, por tanto, 2, 3, 4, etc.), que en particular contiene al menos dos (o al menos la pluralidad) de las siguientes variables: una señal de corriente de bombeo que representa un flujo de corriente  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo 36; una señal de la célula de bombeo que representa una tensión  $U_{P1}$  en la célula de bombeo 36; la variable de salida  $u$  del regulador 62; un valor retrasado en el tiempo de la señal compensada  $x'$  (véase la explicación más adelante).

Con relación a la Figura 6, se explica con mayor detalle la tercera etapa del procedimiento V3, en donde una unidad de procesamiento de señales 63 de la unidad de evaluación y control 60, a partir de la señal de la

tensión de Nernst y de al menos otra variable  $p$ , determina una señal compensada  $x$ , así como la estructura de la unidad de procesamiento de señales 63 de la unidad de evaluación y control 60.

En este ejemplo, en la determinación de la señal compensada  $x$ , junto con la tensión de Nernst  $U_{vs}$ , primero se incluyen las otras tres variables  $p$ , a saber, el flujo de corriente  $I_{P1}$  a través de la célula de bombeo 36, la tensión  $U_{P1}$  que se aplica en la célula de bombeo 36 entre el primer electrodo 16 y el segundo electrodo 18, y la variable de salida  $u$  del regulador 62. Mediante la suma ponderada, a partir de esas otras tres variables, en el ejemplo, se forma otra única variable  $p'$  media, por ejemplo según  $p' = u \cdot k_1 + U_{P1} \cdot k_2 + I_{P1} \cdot k_3$ , donde  $k_i$  pueden tener signo positivo o negativo.

Una variable intermedia  $q$ , a su vez, se forma nuevamente mediante la formación ponderada del valor medio, a partir de la otra variable  $p'$  formada previamente y del valor retardado en el tiempo de la señal  $x'$  compensada (véase la explicación más adelante).

La variable intermedia  $q$ , por ejemplo, se calcula según la fórmula  $q = c_1 \cdot p' + c_2 \cdot x'$  con coeficientes  $c_1$ ,  $c_2$  positivos y/o negativos, pero respectivamente distintos de cero.

En el ejemplo se prevé que la variable intermedia  $q$  sea la variable de entrada de un filtro 69, por ejemplo de un filtro digital 69. Por ejemplo, puede tratarse de un filtro IIR (infinite impulse response, respuesta infinita al impulso). La variable de salida del filtro digital 69 es  $z$ .

En el ejemplo, la señal compensada  $x$  se calcula como la suma de la variable de salida  $z$  con la tensión de Nernst  $U_{vs}$ . De manera alternativa, la señal compensada  $x$  también puede calcularse mediante la formación de una suma ponderada o mediante una formación ponderada del valor medio.

La señal compensada  $x'$  retardada en el tiempo, ya mencionada anteriormente, se forma al retardarse en el tiempo la señal compensada  $x$  (no retardada en el tiempo), por ejemplo en un ciclo de tiempo en el caso de una realización de la invención digital, discreta en el tiempo. Ese retardo  $T_s$ , entre otras cosas, se utiliza para evitar un así llamado bucle lógico. El retardo  $T_s$ , en el ejemplo, tiene lugar con un elemento de retardo 68 y, por ejemplo, es de 1 ms, lo que es un valor muy reducido en comparación con las constantes de tiempo del elemento sensor 10 (por ejemplo tiempo de paso del gas/tiempo de difusión típico dentro de la cavidad 30 desde el segundo electrodo 18 al tercer electrodo 20: 1000ms).

En el ejemplo se prevé que el efecto del filtro 69 corresponda a un filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda. El filtro 69, por tanto, por ejemplo, puede consistir en un paso de banda y/o en un paso alto.

En el ejemplo, el filtrado provoca que en la salida del filtro 69 se encuentre presente una señal sin valor medio. Además, en particular puede preverse que el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda atenúe componentes espectrales por debajo de 0,5 Hz, en al menos 3dB. En particular, además puede preverse que el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda atenúe componentes espectrales de entre 2 Hz y 5 Hz, en menos de 3dB. Adicionalmente, puede preverse que mediante el filtrado se atenúen componentes espectrales por encima de 20 Hz (ruido), en más de 3dB. Una respuesta de la amplitud de un filtro 69 de esa clase está ilustrada en la Figura 7a. La Figura 7b, en la parte superior, muestra a modo de ejemplo la progresión en el tiempo de una señal de entrada  $q$  en ese filtro 69 y, en la parte inferior, la progresión en el tiempo de la señal de salida  $z$  nivelada correspondiente, y sin valor medio, desde ese filtro 69.

La unidad de evaluación y control 60 (véase por ejemplo la Figura 5), además, está configurada para regular la temperatura del elemento sensor 10 a una temperatura predeterminada. Para ello, por ejemplo, evalúa la resistencia eléctrica de la célula de Nernst 40 y/o de la célula de bombeo 36 y/o de la otra célula de bombeo 37. La resistencia eléctrica forma la variable de medición de la temperatura del elemento sensor 10, por tanto, la señal de temperatura. La misma se compara con otro valor objetivo y otro regulador controla un suministro eléctrico del calentador por resistencia eléctrica ( $U_H$ ), de manera que el elemento sensor 10 adopta una temperatura predeterminada.

La capacidad del dispositivo según la invención y del procedimiento según la invención de medir tanto una concentración de oxígeno  $c_{O_2}$ , como también una concentración de óxido de nitrógeno  $c_{NOx}$  de forma dinámica, y al mismo tiempo de forma precisa, con un elemento sensor 10 como está ilustrado en la Figura 2, fue verificada y se ilustra mediante las Figuras 8a y 8b.

Para ello, alrededor del elemento sensor 10 según la Figura 2 circula una mezcla de gas desde un dispositivo de mezcla de gas. La mezcla de gas se compuso de nitrógeno y oxígeno en el caso de una parte de agua de 1%. Hasta el instante de 2000 ms, la parte de oxígeno fue relativamente alta (6%), en correspondencia con un gas residual que resulta de una combustión magra. De modo correspondiente, se midieron corrientes de bombeo  $I_P$  positivas ( $I_P > 0$ ). A continuación, el contenido de oxígeno fue muy reducido, en correspondencia

con una combustión grasa con una carencia de oxígeno de 1,5%. De manera correspondiente, se midieron corrientes de bombeo  $I_P$  negativas ( $U_{IP} < 0$ ).

5 Mientras que en los procedimientos conocidos por el estado de la técnica y en las unidades de evaluación y de control conocidas, en el caso del paso por el punto  $\lambda=1$  (como  $U_{IP} = 0\text{mV}$ ), puede observarse una ondulación pronunciada (línea punteada en la Figura 8a), esa ondulación se elimina casi por completo con el procedimiento según la invención y con la unidad de evaluación y de control según la invención (línea continua en la Figura 8a).

10 En la figura 8b está representada la concentración de NOx medida,  $c_{NOx}$ . Si bien el gas de medición realmente no presenta ninguna parte de NOx, tanto los procedimientos/dispositivos conocidos (línea punteada en la Figura 8b), como también aquellos según la invención (línea continua en la Figura 8b), muestran una señal NOx transitoriamente distinta de cero en el caso de un paso por el punto  $\lambda=1$ . Sin embargo, con el procedimiento/dispositivo según la invención es mucho menor que con los procedimientos/dispositivos conocidos.

# REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar una concentración de oxígeno (cO2) en un gas residual (100) con un elemento sensor (10), que presenta lo siguiente:

- 5           - en su interior, una cavidad (30) que, mediante una abertura de acceso (32), está conectada al gas residual (100),
- en su interior, además, un espacio de referencia (38) que está separado de la cavidad (30),

10           - una célula de bombeo electroquímica (36) que presenta un primer electrodo (16) que, del lado externo del elemento sensor (10), está expuesto al gas residual (100), y presenta un segundo electrodo (18) que está dispuesto en la cavidad (30), y presenta un primer electrolito sólido (14a), mediante el que el primer electrodo (16) está conectado al segundo electrodo (18), con conducción de iones de oxígeno,

15           - una célula de Nernst electroquímica (40) que presenta un tercer electrodo (20) que está dispuesto en la cavidad (30), y presenta un cuarto electrodo (22) que está dispuesto en el espacio de referencia (38), y presenta un segundo electrolito sólido (14b), mediante el que el tercer electrodo (20) está conectado al cuarto electrodo (22), con conducción de iones de oxígeno,

donde el procedimiento prevé que la concentración de oxígeno que se encuentra en la cavidad (30) se regule a un valor constante, dado que:

- 20           - se detecta una señal de tensión de Nernst que representa la tensión de Nernst (U<sub>N</sub>) que se conforma en la célula de Nernst,
- se detecta o determina al menos otra variable (p), a saber: una señal de corriente de bombeo que representa un flujo de corriente (IP1) a través de la célula de bombeo (36); y/o una señal de la célula de bombeo que

representa una tensión (UP1) en la célula de bombeo (36),

- 25           - a partir de la señal de tensión de Nernst y de al menos otra variable (p) se determina una señal compensada (x),
- se determina una señal de error (e) como diferencia de un valor objetivo (r) y de la señal compensada (x),
- la señal de error (e), como variable de entrada, se suministra a un regulador (62),
- 30           - la variable de salida (u) del regulador (62) se aplica a la célula de bombeo (36), de manera que resulta un flujo de corriente (IP1) a través de la célula de bombeo (36),

y donde el procedimiento prevé que una señal que representa el flujo de corriente (IP1) a través de la célula de bombeo (36) se emita como variable de medición de la concentración de oxígeno (cO2) en el gas residual (100).

35           2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque al menos otra variable (p) es una pluralidad de variables que contiene las dos siguientes variables: una señal de corriente de bombeo que representa un flujo de corriente (IP1) a través de la célula de bombeo; una señal de la célula de bombeo que representa una tensión (UP1) en la célula de bombeo (36).

40           3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque adicionalmente con respecto a la concentración de oxígeno (cO2), se determina la concentración de óxido de nitrógeno (cNOx) en el gas residual (100), dado que:

45           el elemento sensor (10), en su interior, presenta otra cavidad (31) que está conectada a la cavidad (30), y el elemento sensor (10) presenta otra célula de bombeo (37) que presenta un quinto electrodo (24) que está dispuesto en la otra cavidad (31), y presenta un sexto electrodo (26) que está dispuesto por fuera de la otra cavidad (31), y presenta un tercer electrolito sólido (14c) que conecta uno con otro el quinto electrodo (22) y el sexto electrodo (24), con conducción de iones de oxígeno,

donde el procedimiento prevé que en la otra célula de bombeo (37) se aplique una tensión eléctrica (UP2) y que una variable que representa el flujo de corriente (IP2) resultante a través de la segunda célula de bombeo (37) se emita como variable de medición de la concentración de óxido de nitrógeno (cNOx) en el gas residual.

- 5 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la temperatura del elemento sensor (10) se regula a una temperatura predeterminada, dado que el elemento sensor (10) presenta un calentador por resistencia eléctrica (44) que puede ponerse en contacto desde el exterior, y dado que el procedimiento prevé que se detecte una señal de temperatura que representa una temperatura del elemento sensor (10) y se compare con otro valor objetivo, y que otro regulador active un suministro eléctrico del calentador por resistencia eléctrica (44), de manera que el elemento sensor (10) adopte la temperatura predeterminada.
- 10 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la variable de salida (u) del regulador (62) es una tensión que se aplica en la célula de bombeo (36), de manera que resulta un flujo de corriente (IP1) a través de la célula de bombeo (36).
- 15 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la señal compensada (x) se determina a partir de la señal de tensión de Nernst y de al menos otra variable (p), como suma de la señal de tensión de Nernst con una señal que proviene de al menos otra variable (p) como resultado de filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda.
- 20 7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda atenúa componentes espectrales por debajo de 0,5 Hz, en al menos 3dB.
8. Procedimiento según la reivindicación 6 ó 7, caracterizado porque el filtrado de paso alto y/o filtrado de paso de banda atenúa componentes espectrales de entre 2 Hz y 5 Hz, en menos de 3dB.

DIBUJOS

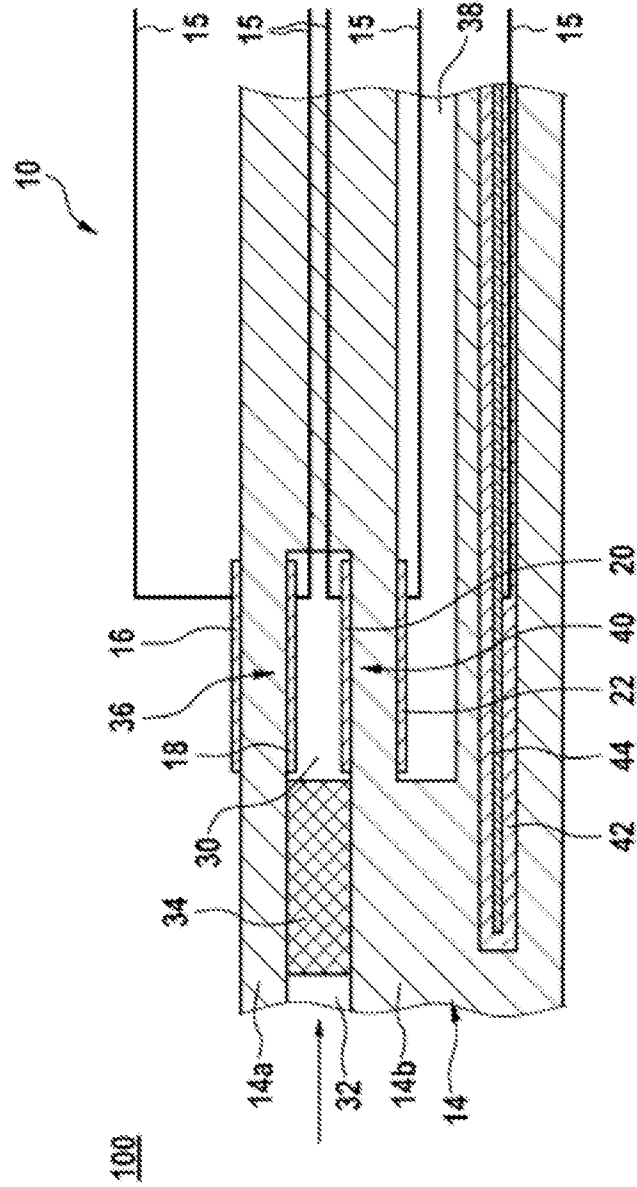
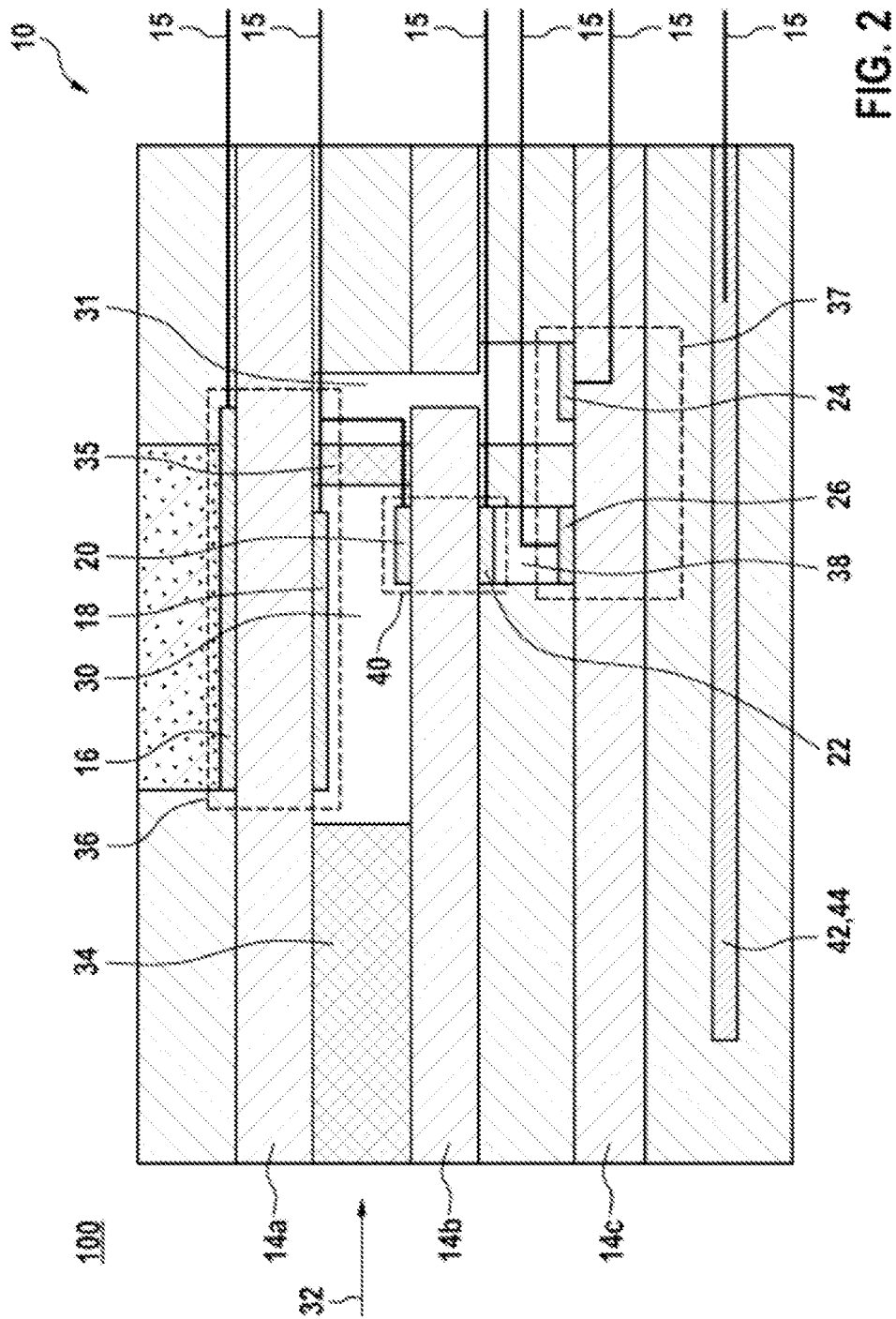
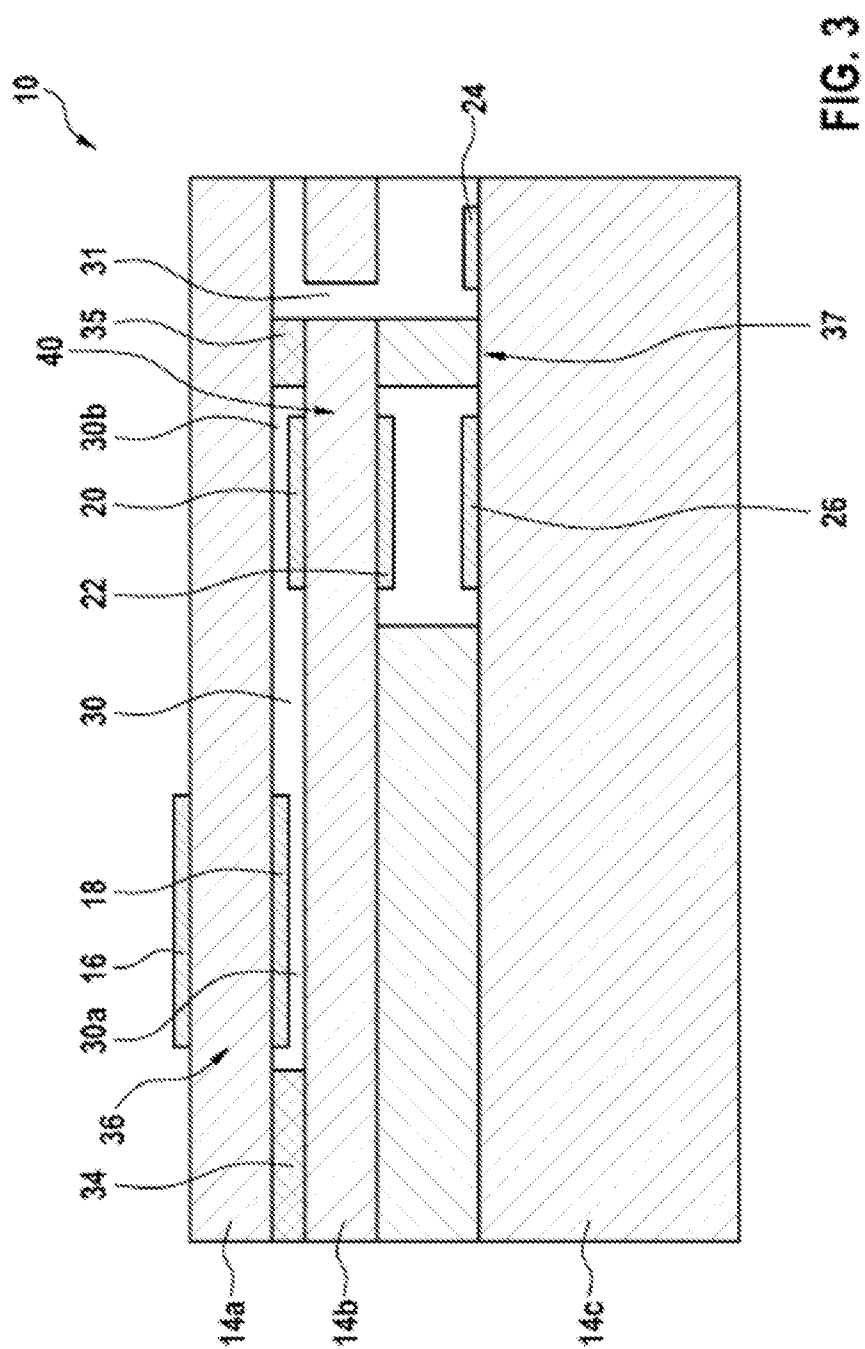


FIG. 1







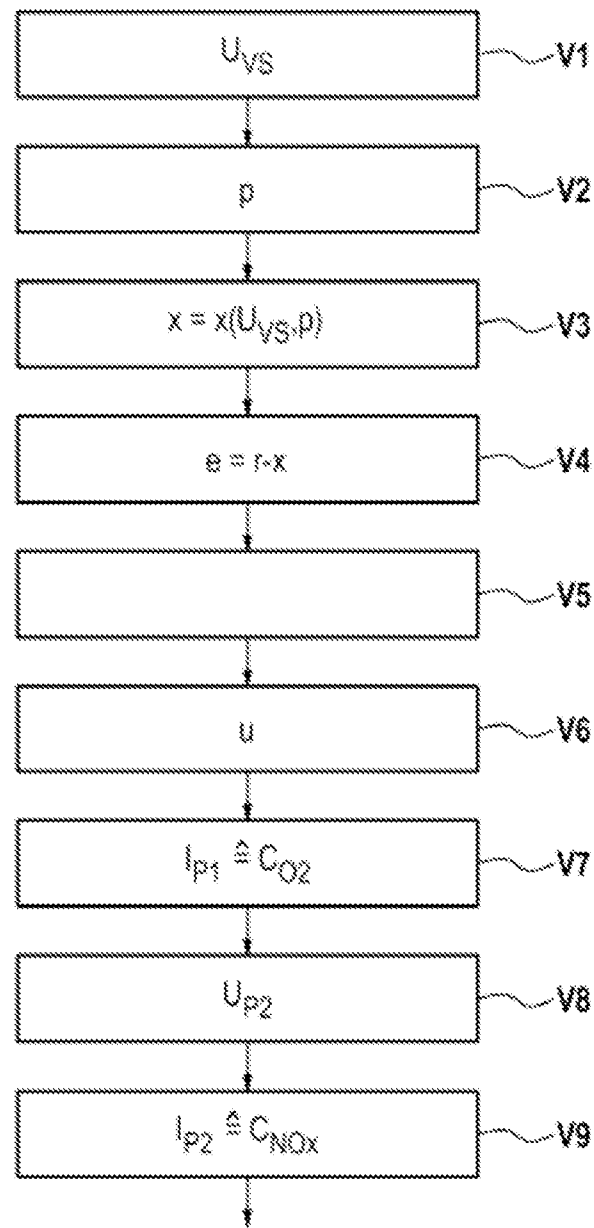


FIG. 4

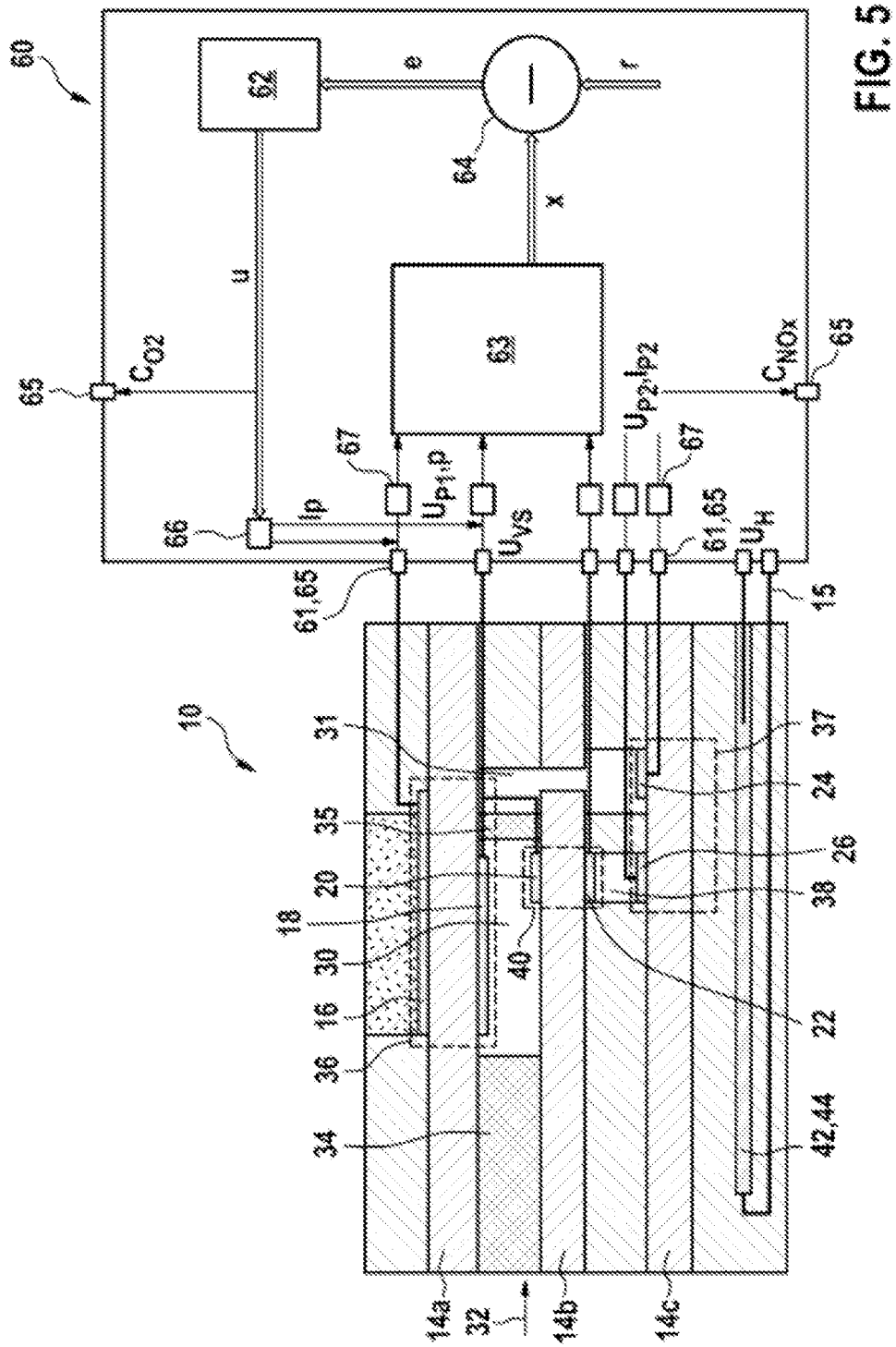
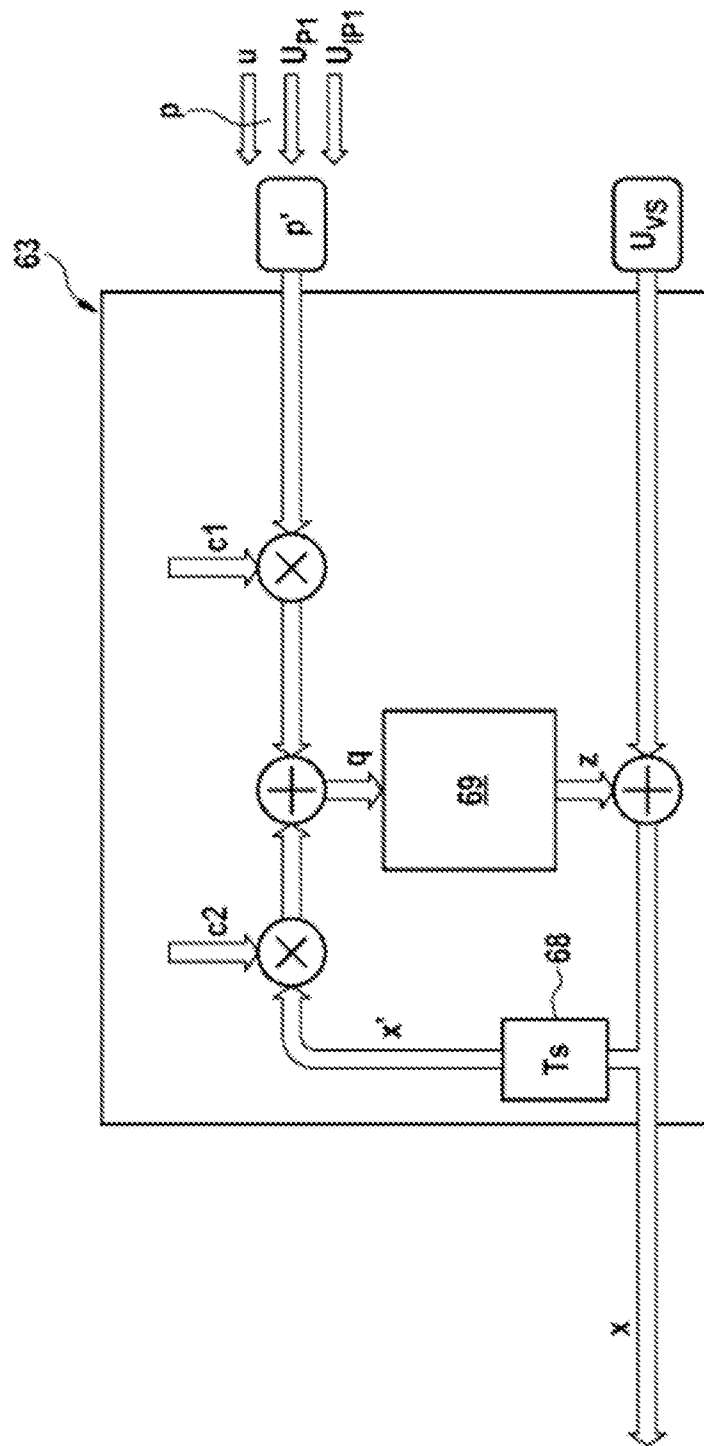
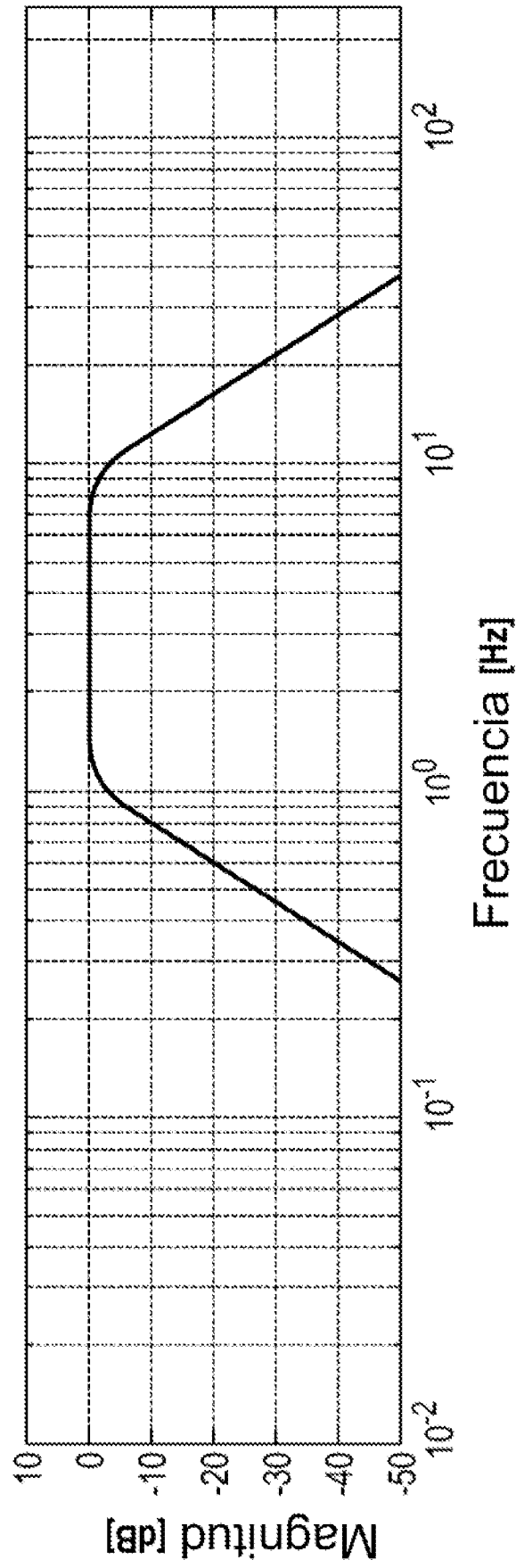


FIG. 5



69



**FIG. 7a**

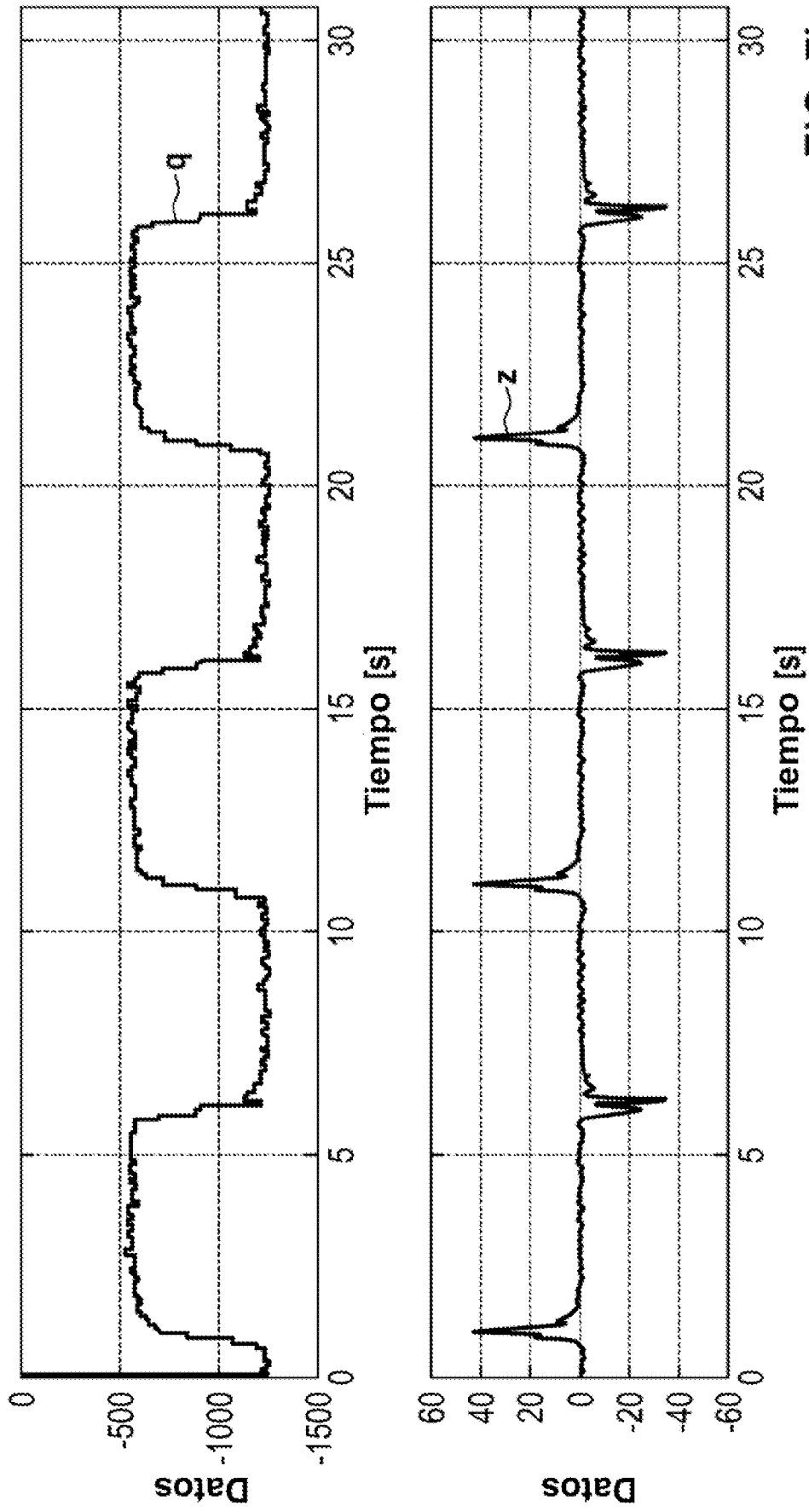


FIG. 7b

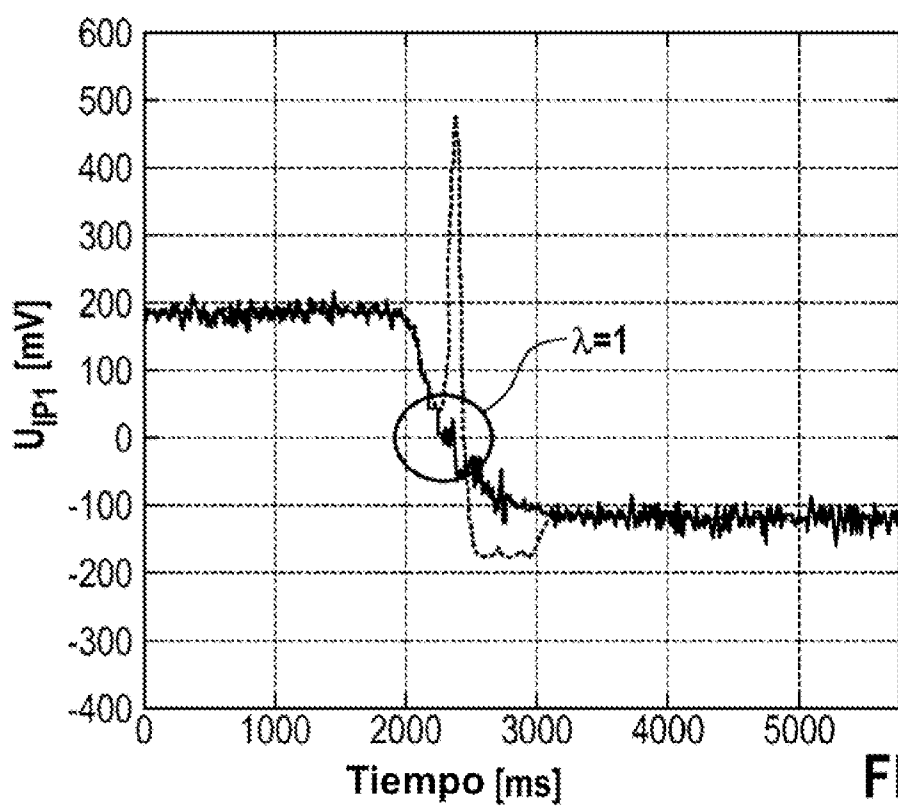


FIG. 8a

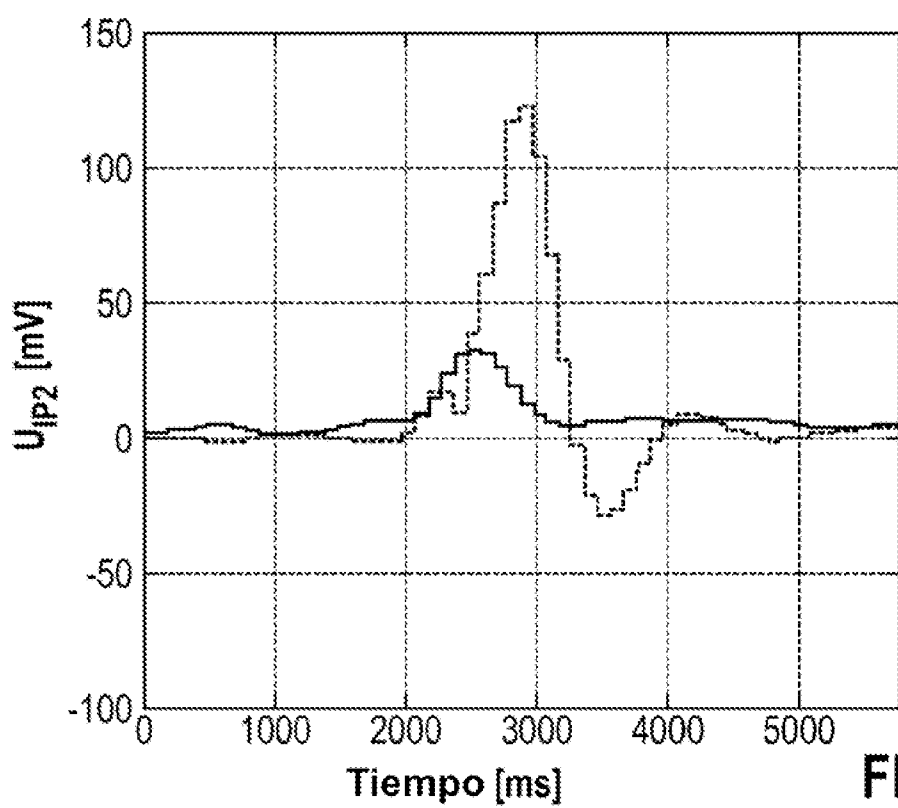


FIG. 8b