

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 648**

51 Int. Cl.:

B64D 43/02 (2006.01)

G05B 9/03 (2006.01)

G01D 3/036 (2006.01)

G01D 3/08 (2006.01)

G01D 5/244 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2016 PCT/EP2016/081406**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.06.2017 WO17103093**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2016 E 16809865 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019 EP 3390967**

54 Título: **Procedimiento para monitorear al menos dos sensores redundantes**

30 Prioridad:

18.12.2015 EP 15200994

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

06.04.2020

73 Titular/es:

BAYER AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)

Kaiser-Wilhelm-Allee 1

51373 Leverkusen, DE

72 Inventor/es:

KÜPPER, ACHIM

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 752 648 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 monitorear al menos dos sensores redundantes

La presente invención se refiere a un procedimiento para monitorear al menos dos sensores redundantes que están dispuestos en particular en una instalación química. Asimismo, la invención comprende un equipo de monitoreo para monitorear al menos dos sensores redundantes, por ejemplo, de una instalación química o de un avión.

El documento DE 102 42 128 A1 divulga un equipo de monitoreo de este tipo.

En la industria química, se puede encontrar una pluralidad de instalaciones químicas que, como consecuencia de las sustancias procesadas en tales instalaciones, están sujetas a estrictos requisitos en cuanto a la seguridad. Una instalación química a modo de ejemplo y no exhaustiva es una instalación de 2,4-diisocianato de tolueno (TDI). Para el monitoreo, en particular como parte de una función de protección relevante para la seguridad de una instalación química de tal tipo o, en su caso, como parte de una evaluación automática de parámetros de vuelo importantes de un avión a través de un piloto automático, se utilizan equipos de monitoreo y sensores, en particular para la medición de variables del proceso, con el fin de obtener en todo momento datos actuales acerca del al menos un proceso (químico) llevado a cabo en una instalación. Los datos del proceso, o bien, variables del proceso, actuales detectados por los sensores suelen ser transmitidos a un equipo de monitoreo y evaluados por este. Durante la evaluación, se puede, por ejemplo, predeterminar un rango de valores admisible para la al menos una variable del proceso captada. En el caso de que el equipo de monitoreo constate que el valor detectado por el sensor queda fuera del rango de valores admisible, se podrá interrumpir el proceso y/o emitir una alarma. También se podrá aplicar una normativa para reconducir la magnitud física detectada por el sensor a un valor teórico. De este modo, se puede asegurar que, por ejemplo, se pueda detectar con rapidez el escape de la instalación química de una sustancia nociva para el medio ambiente y que se pueda impedir con ello que se produzcan daños.

Otro ejemplo de la aplicación de sensores redundantes se da en los aviones. A modo de ejemplo, en un avión se comprueban los parámetros importantes para una posición de vuelo estable. Para dicha comprobación, se utilizan sensores para detectar, por ejemplo, la velocidad de vuelo. Los parámetros de vuelo captados se transmiten al piloto automático que, en el caso de se produzcan disfunciones, dirige corrigiéndolas para mantener estable la posición de vuelo.

No obstante, durante tal monitoreo es un problema que la propia comprobación pueda ser errónea como consecuencia de un sensor defectuoso. Expresado de otro modo, únicamente se puede garantizar un monitoreo correcto si los sensores empleados funcionan sin errores y suministran valores reales correctos, esto es, variables físicas del proceso correctas. En este punto, particularmente la detección de un sensor defectuoso provoca dificultades. Por regla general, solo se detecta un sensor defectuoso si la señal de sensor suministrada por el sensor, o bien, los valores de medición de esta señal de sensor, queda(n) fuera del rango admisible predeterminado mencionado anteriormente y se verifican tras la desconexión de toda la instalación química o tras el aterrizaje del avión. No obstante, esto va unido a considerables gastos, trabajo y pérdida de tiempo. No obstante, puede producirse un daño aún mayor si el sensor defectuoso suministra una señal de sensor errónea que se encuentre dentro del rango admisible aunque una variable real del proceso quede dentro del rango inadmisibles. Expresado de otro modo, un funcionamiento erróneo, por ejemplo, la salida de una sustancia nociva de una instalación, queda sin ser reconocido como consecuencia del sensor defectuoso.

En el caso del monitoreo de un avión, un sensor puede por ejemplo proporcionarle al piloto automático un valor de medición de la velocidad erróneo por haberse helado. A continuación, puede producirse la caída del avión. Para el caso de que no se detecte un sensor defectuoso, esto puede significar, por ejemplo, que una medición errónea de la velocidad sugiera al piloto automático una velocidad de vuelo suficientemente elevada aunque el avión vuele en realidad demasiado despacio y se encuentre cerca de su entrada en pérdida y, por lo tanto, cerca de caer.

Por lo tanto, el objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento para monitorear sensores que haga posible una detección segura de un sensor defectuoso.

El objetivo deducido y expuesto anteriormente se consigue según un primer aspecto de la invención de un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1. El procedimiento se basa en la utilización de al menos dos sensores redundantes y la comparación implementada en ordenador de las señales de medición comprendidas por estos sensores. De manera correspondiente, es objeto de la presente solicitud un procedimiento para monitorear al menos dos sensores redundantes que están dispuestos en particular en una instalación química o en un avión, el cual comprende las siguientes etapas:

- a) proporcionar una primera señal de sensor de un primer sensor de los dos sensores redundantes, donde la primera señal de sensor comprende al menos un valor de medición,
- b) proporcionar al menos otra señal de sensor de otro sensor de los dos sensores redundantes, donde la otra señal de sensor comprende al menos otro valor de medición,
- c) generar al menos una primera señal analítica a partir de la primera señal de sensor,
- d) generar al menos otra señal analítica a partir de la otra señal de sensor,
- e) selección de un horizonte temporal para las señales de sensor de a), b) mediante la comparación de las señales

analíticas de c) y d) con una medida límite predefinida para la dispersión, la estacionariedad, o bien, la dinámica de la señal de sensor,

f) determinar al menos una correlación entre la primera señal analítica del primer sensor y la señal analítica del otro sensor o la diferencia entre la primera señal de sensor del primer sensor y la señal de sensor del otro sensor,

5 g) comparar la correlación con al menos un rango de correlación admisible o la diferencia con un rango de diferencia admisible, y

h) determinar si, de los dos sensores redundantes, al menos un sensor es defectuoso en función del resultado de la comparación según g).

10 El procedimiento según la invención es ejecutado habitualmente por un ordenador que esté configurado para la ejecución de las etapas.

15 Puesto que, en contraposición al estado de la técnica, se evalúan las señales de sensor de dos sensores redundantes y, al menos en dependencia de las dos señales analíticas correspondientes, se deduce una correlación, o bien, una diferencia, entre las señales de sensor, es posible detectar un sensor defectuoso de manera segura, esto es, advertir acerca del comportamiento erróneo de un sensor. Se puede aumentar la seguridad del proceso monitoreado. Un sensor defectuoso puede ser reemplazado sin gran esfuerzo y con pocos gastos aunados a ello. En cambio, las señales de sensor de tres o más sensores pueden ser evaluadas en cada caso por pares.

20 Por "sensores redundantes" ha de entenderse de acuerdo con la invención que, con respecto a un primer sensor, esté dispuesto al menos otro sensor (adyacente) que detecte en cuanto a la técnica de medición al menos una variable del proceso similar, preferentemente, las mismas variables del proceso. Aquí, se entiende que una primera variable del proceso es similar a otra variable del proceso si las dos variables del proceso presentan una respecto de la otra un comportamiento similar condicionado por la evolución del proceso, por ejemplo, una modificación dinámica similar a lo largo del tiempo, o si la primera variable del proceso puede transformarse en la otra variable del proceso mediante un cálculo (y a la inversa).

25 En una forma de realización, al menos un sensor puede estar configurado para detectar como variable del proceso la presión, el flujo másico, la temperatura, una cualidad como el valor del pH, la viscosidad, la velocidad de la corriente, la altitud de vuelo, etc. Sin embargo, de manera alternativa también puede tratarse de una magnitud calculada a partir de valores de medición. Preferentemente, los sensores redundantes pueden medir la misma variable del proceso. Como es obvio, también pueden estar previstos y vigilarse tres o más sensores redundantes, donde la comparación de las señales de sensor, es decir, la determinación de la correlación, o bien, diferencia, se realice entonces por pares de acuerdo con la etapa f) del procedimiento.

30 Cada uno de los al menos dos sensores redundantes proporciona en cada caso al menos una señal de sensor. En particular, puede estar previsto que el primer sensor suministre una primera señal de sensor a un equipo de monitoreo a través de una conexión de comunicación apropiada y que el otro sensor suministre otra señal de sensor al equipo de monitoreo a través de una conexión de comunicación apropiada. En el sentido de la presente solicitud, una señal de sensor comprende una pluralidad de valores de medición que son captados por el sensor preferentemente de manera (prácticamente) continua a lo largo de un intervalo de tiempo (llamado también "intervalo").

35 En el sentido de esta solicitud, para el examen de los sensores se define un horizonte durante un tiempo desde el momento actual al pasado o a través de un número de mediciones disponibles con respecto a la medición actual. Un horizonte se define habitualmente a través de un tiempo (llamado también "horizonte temporal"). En el sentido de la presente solicitud, un horizonte puede ser un horizonte movido o un intervalo de tiempo.

Se ha reconocido que, para una evaluación o detección de errores segura, en primer lugar se determina, en particular, se calcula, una señal analítica en cada caso a partir de las al menos dos señales de sensor proporcionadas. Una señal analítica en el sentido de la solicitud es una señal que reproduzca una medida para la dispersión, la estacionariedad, o bien, la dinámica, de los datos, o bien, valores de medición, detectados en último lugar por el sensor.

45 Ha sido reconocido que, para una determinación segura de un sensor defectuoso, una señal analítica debería presentar una cantidad suficiente de valores de medición, donde deberían estar comprendidos siempre los valores de medición más actuales. Esto se puede conseguir a través de que una señal analítica se genere a través de un horizonte movido. Si, por tanto, hay un nuevo valor de medición, este se tendrá en cuenta en la señal analítica y el valor de medición más antiguo se eliminará de la señal analítica.

50 Asimismo, se ha reconocido que la definición o selección del horizonte es decisiva para la calidad del examen. Por lo tanto, de acuerdo con la invención se efectúa en la etapa e) una selección de un horizonte para las señales de sensor de a), b) mediante la comparación de las señales analíticas de c) y d) con una medida límite predefinida para la dispersión, la estacionariedad, o bien, la dinámica de la señal de sensor.

55 Con el fin de determinar al menos un sensor defectuoso, se determina o averigua una correlación entre las al menos dos señales analíticas o la diferencia entre las señales de sensor de dos sensores redundantes a través de un horizonte. También es posible establecer una correlación directamente (sin cálculo de las señales analíticas a partir de las señales de sensor) entre las al menos dos señales de sensor a través del horizonte con la desventaja consistente en que, si la correlación es pequeña, la fiabilidad del procedimiento será menor. La al menos una

correlación o diferencia determinada se compara entonces con un rango de correlación o de diferencia admisible (predeterminable). Resulta obvio que, en particular en el caso de una pluralidad de correlaciones o diferencias diferentes, pueden estar previstos diferentes rangos de correlación o rangos de diferencia, respectivamente, admisibles correspondientes. Un rango de correlación admisible puede obtenerse también implícitamente a través de un rango de correlación y/o de al menos un valor límite inadmisibles indicados explícitamente. Esto se cumple también para un rango de diferencia.

Para la detección o determinación de un sensor defectuoso, la correlación o la diferencia determinada se compara con un rango de correlación o de diferencia, respectivamente, admisibles. En el caso de que la correlación, o bien, la diferencia, quede dentro del rango admisible, no hay sensor defectuoso. En el caso de que la correlación, o bien, la diferencia, no quede dentro del rango admisible, hay un sensor defectuoso. Entonces, se puede emitir, por ejemplo, una alarma. A modo de ejemplo, pueden iniciarse entonces medidas para subsanar el fallo, como el recambio del sensor (también de manera automática). Para evitar una falsa alarma, el resultado de la comparación se verifica preferiblemente en al menos una etapa de comprobación. A modo de ejemplo, puede estar previsto que en primer lugar se emita una advertencia y que la alarma se emita no antes de detectarse varias veces (por ejemplo, tres veces) que se ha quedado fuera del rango de correlación o de diferencia admisible.

Se ha reconocido que pueden producirse diferentes errores. Ejemplos de errores no exhaustivos y, con ellos, de sensores defectuosos, que pueden detectarse mediante formas de realización según la invención son los errores por desviación, los errores por congelación y/o los errores por impurificación. Por "errores por desviación" ha de entenderse aquí la imprecisión constante de los valores de medición de un sensor con respecto a los valores de medición del otro sensor de los al menos dos sensores redundantes. La desviación constante en los valores de medición entre los sensores redundantes puede interpretarse como imprecisión estacionaria de un sensor. "Congelación" hace aquí referencia al helamiento de una señal de sensor. Expresado de otro modo, la señal de sensor en cuestión puede indicar en todo momento un valor (erróneo) constante, mientras que el otro sensor puede indicar (correctamente) la evolución dinámica de la variable del proceso medida. Por "impurificación" se entiende aquí en particular un retardo temporal del comportamiento dinámico de la señal de medición de un sensor con respecto a la señal de medición del otro sensor de los al menos dos sensores redundantes. Esto puede verse ocasionado, por ejemplo, por el ensuciamiento de un sensor, como una incrustación. El ensuciamiento puede llevar a una inercia (dinámica) del sensor.

En una primera forma de realización del procedimiento, se utiliza como señal analítica una desviación estándar calculada de la señal de sensor respectiva con respecto a un valor medio a través de un horizonte movido. Una desviación estándar es una (buena) medida para la dispersión, la estacionariedad o la dinámica de los datos, esto es, los valores de medición, medidos de la señal de sensor.

Para detectar en particular un error por desviación, en la etapa e) del procedimiento se recurre a la desviación estándar de cada señal de sensor como señal analítica. Se comprueba si, para cada señal de sensor, la medida para la dinámica del punto de datos de medición actual (expresado con otras palabras, la señal analítica) es suficientemente pequeña a través de un horizonte; es decir, si el proceso es estacionario. La estacionariedad de la señal de sensor se determina habitualmente a través de un horizonte temporal movido (llamado también "horizonte movido"). Si la desviación estándar de la primera señal de sensor y la desviación estándar de la otra señal de sensor presentan en cada caso una estacionariedad admisible, esto es, suficiente, para el mismo espacio de tiempo o los mismos momentos, por lo tanto, no superan por ejemplo un valor límite correspondiente, los datos o valores de medición son suficientemente inmóviles para la detección de un error por desviación. De lo contrario, como consecuencia de dinámicas a corto plazo, por ejemplo, en el proceso químico o en la velocidad de un avión, existe el peligro de que se produzca como falsa alarma el aviso de un error por desviación no existente de facto. Un horizonte movido de una señal analítica para la comprobación de la desviación asciende normalmente a pocos minutos. Si los puntos de datos de medición de los dos sensores presentan en cada caso solo una pequeña dinámica a través del horizonte movido, de conformidad con la etapa f) del procedimiento, se calcula la diferencia de las señales de medición (una fila de puntos de datos de medición) o únicamente la diferencia de los puntos de datos de medición actuales de ambos sensores (llamada también "valor de desviación"), y se compara con un valor límite máximo de desviación. Dependiendo del resultado de la comparación, se puede determinar si hay un sensor defectuoso. Si la comparación da como resultado que la diferencia determinada no se encuentra en un rango de diferencia (predeterminable) admisible o por debajo de un valor límite de diferencia, a partir de este resultado de la comparación se puede deducir que hay un error por desviación. Expresado de otro modo, en función del resultado de la comparación se puede determinar con facilidad y fiabilidad si hay o no un sensor defectuoso.

En otras formas de realización, el procedimiento según la invención comprende normalmente una comprobación de la congelación y/o de la impurificación con las siguientes etapas: en las etapas c) y d) de estas comprobaciones, se generan/calculan las desviaciones estándar y la primera y/o segunda derivada de cada señal de sensor a través del tiempo como señales analíticas de la señal de sensor respectiva. En la etapa e), se determina un horizonte adecuado para la comprobación correspondiente, normalmente un intervalo de comprobación (llamado también "intervalo"), en el que los puntos de datos de medición detectados de cada señal de sensor presentan un comportamiento dinámico. En este caso, se denominan puntos de datos con un comportamiento dinámico aquellos puntos de datos que localmente (con respecto a los puntos de datos adyacentes) no sean estacionarios ni se caractericen por una tendencia constante; es decir, se determina un intervalo de comprobación en el que el gradiente (primera derivada) de la señal

de sensor correspondiente varíe en suficiente medida a través del tiempo en el intervalo de comprobación. Este es el caso si la magnitud de la segunda derivada calculada de la señal de sensor correspondiente es suficientemente elevada (por encima de un valor límite). Esto se denomina "comportamiento dinámico" en lo sucesivo. Si, por el contrario, la señal de sensor muestra un comportamiento no dinámico, entonces se añaden nuevos puntos de datos de medición al intervalo de comprobación considerado hasta que este comprenda una cantidad mínima predeterminada de puntos de datos de medición dinámicos.

Para la comprobación de la congelación, en la etapa f) se recurre entonces a las señales analíticas de c) y d) para la comprobación y se determina una señal diferencial (ΔA) a partir de la primera señal analítica (A_1) y de la otra señal analítica (A_2). Preferentemente, en la etapa f) se recurre en cada caso a las desviaciones estándar de las señales de sensor como señales analíticas. No obstante, para la comprobación de la congelación también se pueden utilizar como señales analíticas las señales de sensor directamente o sus derivadas. Entonces, se determina una primera correlación cruzada $Cov(A_1, \Delta A)$ entre la señal diferencial determinada y la primera señal analítica. Otra correlación cruzada $Cov(A_2, \Delta A)$ se determina entre la señal diferencial determinada y la otra señal analítica. Entonces, se determina la relación de la primera correlación cruzada con respecto a la otra correlación cruzada. En la etapa g), se compara esta relación con un rango de correlación admisible, en particular, con un rango de relación (predeterminable) admisible. Si las correlaciones cruzadas difieren en sus magnitudes; es decir, la relación calculada se encuentra fuera de un rango de relación predeterminado, se da una congelación y se puede determinar el sensor defectuoso. Si la magnitud de la correlación cruzada $Cov(A_1, \Delta A)$ es menor que la otra correlación cruzada $Cov(A_2, \Delta A)$, entonces el sensor 1 se ve afectado por la congelación, o bien, a la inversa.

Para una comprobación de la impurificación de acuerdo con una forma de realización particular del procedimiento según la invención, determinar al menos una correlación (etapa f) del procedimiento) comprende maximizar la correlación cruzada entre la primera señal analítica y la otra señal analítica a través de diferentes desfases temporales (ΔT). Para ello, normalmente se maximiza la covarianza $Cov(A_1, A_2(\Delta T))$ entre la primera señal analítica y la otra señal analítica durante el intervalo de comprobación a través de un desfase temporal $A_2(\Delta T)$ de la otra señal analítica. Dicho de otro modo, en la etapa f) se calcula como correlación un tiempo de retardo (llamado también "tiempo de impurificación") entre las dos señales de sensor. El tiempo de impurificación se compara con un valor límite del tiempo de retardo admisible. Si el tiempo de impurificación se encuentra por encima de un valor límite máximo admisible, hay un sensor defectuoso. Preferentemente, en la etapa f) se recurre en cada caso a las desviaciones estándar de las señales de sensor como señales analíticas. Para la comprobación de la impurificación, como señales analíticas se pueden utilizar también las señales de sensor directamente o sus derivadas.

En los al menos dos sensores a monitorear se trata de sensores redundantes. Estos pueden estar dispuestos, por ejemplo, en proximidad directa entre sí en un dispositivo de una instalación química. A modo de ejemplo, pueden lindar directamente entre sí y/o comprender una carcasa común o similares. De acuerdo con una forma de realización, los sensores redundantes también pueden estar dispuestos distanciados entre sí. A modo de ejemplo, un primer sensor puede encontrarse al principio de un conducto de fluido y otro sensor puede encontrarse al final de un conducto de fluido. En otro ejemplo, entre los dos sensores puede estar dispuesto un aparato o los sensores pueden estar dispuestos en diferentes aparatos dispuestos uno tras otro. Esta relación estructural entre el primer y el segundo sensor puede determinarse de acuerdo con otra forma de realización. A modo de ejemplo, esta determinación puede producirse (una vez) durante la instalación de los sensores. En una etapa de preprocesamiento, al menos una de las señales de sensor proporcionadas puede ser procesada temporalmente en dependencia de la relación estructural de los sensores. De este modo, se puede en particular tener en cuenta retardos causados por la instalación (conocidos) entre la primera señal de sensor y la otra señal de sensor. Esto hace posible la detección de un sensor defectuoso de al menos dos sensores redundantes también si los sensores no están dispuestos de manera directamente adyacente, sino distanciados entre sí.

De acuerdo con una forma de realización preferida, al menos una de las señales de sensor suministradas con un elemento de retardo de primer orden se puede procesar temporalmente en función de la relación estructural de los sensores. De manera adicional o alternativa, al menos una de las señales de sensor proporcionadas con un elemento de tiempo muerto se puede procesar temporalmente en función de la relación estructural de los sensores. En particular, se ha reconocido que aparatos de la técnica del procedimiento que estén dispuestos entre dos sensores redundantes pueden describirse mediante un elemento de retardo de primer orden (PT_1) o de mayor orden (PT_n) o mediante un elemento de tiempo muerto (PT_m). Si en el comportamiento dinámico del aparato de la técnica del procedimiento se trata de un elemento de tiempo muerto (PT_m), la señal de medición posterior puede ser retardada a través de un desplazamiento temporal.

Con el fin de mejorar la calidad de los datos en la que se basa la detección de fallos, de acuerdo con otra forma de realización, puede estar previsto que, antes de determinarse la primera señal analítica y/o la otra señal analítica, en una etapa de filtrado se filtre (preprocese) al menos una de las señales de sensor captadas, por ejemplo, con un filtro de paso bajo convencional, de tal modo que se elimine por filtrado al menos ruido de medición de la señal de sensor (correspondiente). Se puede prescindir de esta etapa de filtrado siempre y cuando el ruido esté distribuido con normalidad.

Otro aspecto de la invención es un equipo de monitoreo para monitorear al menos dos sensores redundantes que están dispuestos en particular en una instalación química. El equipo de monitoreo comprende al menos un equipo

receptor configurado para recibir una primera señal de sensor de un primer sensor de los dos sensores redundantes y para recibir al menos otra señal de sensor de otro sensor de los dos sensores redundantes. La primera señal de sensor comprende al menos un valor de medición y la otra señal de sensor comprende al menos un valor de medición. El equipo de monitoreo comprende al menos un equipo de procesamiento configurado para generar una primera señal analítica a partir de la primera señal de sensor y para generar al menos otra señal analítica a partir de la otra señal de sensor. El equipo de procesamiento está configurado para determinar al menos una correlación entre la primera señal analítica del primer sensor y la señal analítica del otro sensor o la diferencia entre la primera señal de sensor del primer sensor y la señal de sensor del otro sensor. El equipo de monitoreo comprende al menos un equipo comparador configurado para comparar la correlación o diferencia con al menos un rango o límite de correlación o de diferencia, respectivamente, admisible. El equipo de monitoreo comprende al menos un equipo de evaluación configurado para determinar si al menos un sensor es defectuoso dependiendo del resultado de la comparación.

El equipo de monitoreo es apropiado en particular para ejecutar el procedimiento descrito anteriormente.

Otro aspecto de la invención es una instalación química que comprende al menos dos sensores redundantes y al menos un equipo de monitoreo descrito anteriormente.

Otro aspecto de la invención es un avión que comprende al menos dos sensores redundantes y al menos un equipo de monitoreo descrito anteriormente.

Las características de los procedimientos, dispositivos e instalaciones son libremente combinables entre sí. En particular, las características de la descripción y/o de las reivindicaciones dependientes pueden ser inventivas de manera independiente por sí solas o combinadas libremente entre sí, también si se omiten por completo o parcialmente características de las reivindicaciones independientes.

Ahora, hay una pluralidad de posibilidades de configurar y perfeccionar el equipo de monitoreo según la invención, el procedimiento según la invención, y la instalación química según la invención. Para ello, se remite por un lado a las reivindicaciones subordinadas a las reivindicaciones independientes y, por otro lado, a la descripción de ejemplos de realización en relación con el dibujo. En el dibujo, muestran:

- Fig. 1 una vista parcial esquemática de un ejemplo de realización de una instalación química de acuerdo con la presente invención;
- Fig. 2 una vista parcial esquemática de otro ejemplo de realización de una instalación química de acuerdo con la presente invención;
- Fig. 2a una vista parcial esquemática de un ejemplo de realización de un avión de acuerdo con la presente invención;
- Fig. 3 una vista esquemática de un ejemplo de realización de un equipo de monitoreo de acuerdo con la presente invención;
- Fig. 4 un diagrama de un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención;
- Fig. 5 una gráfica a modo de ejemplo con las evoluciones de señales de sensor;
- Fig. 6 otra gráfica a modo de ejemplo con las evoluciones de señales analíticas; y
- Fig. 7 otra gráfica a modo de ejemplo con las evoluciones de señales analíticas.

A continuación, los símbolos de referencia iguales se utilizan para elementos iguales.

La figura 1 muestra una vista parcial esquemática de un ejemplo de realización de una instalación química 100 de acuerdo con la presente invención. En el presente ejemplo de realización, aparece representada en particular una parte de un conducto de fluido 106 de una instalación química 100. A través del conducto de fluido 106 fluye un fluido que puede ser vigilado por los sensores redundantes 102.1, 102.2.

En el conducto de fluido 106 hay dispuestos en este caso dos sensores redundantes 102.1, 102.2. En el presente ejemplo de realización, los sensores 102.1, 102.2 presentan una distancia entre sí. Esta relación estructural entre los sensores 102.1, 102.2 puede tenerse en cuenta al detectarse un sensor defectuoso 102.1, 102.2, tal y como se expondrá más adelante. Sin embargo, los sensores 102.1, 102.2 también pueden estar dispuestos directamente uno al lado de otro. Asimismo, los sensores redundantes 102.1, 102.2 están configurados para medir al menos una variable del proceso similar. A modo de ejemplo, la variable del proceso puede ser la temperatura del fluido, la presión dentro del conducto de fluido 106, el caudal, el valor de pH del fluido, etc.

La primera señal de sensor del primer sensor 102.1 puede suministrarse a un equipo de monitoreo 104 a través de una conexión de comunicación 108. Otra señal de sensor puede suministrarse del otro sensor 102.2 al equipo de monitoreo 104 a través de una conexión de comunicación 108. Cada señal de sensor puede formarse a partir de una pluralidad de valores de medición. El equipo de monitoreo 104 está configurado en particular para detectar un sensor

defectuoso 102.1, 102.2. Al detectarse un sensor defectuoso 102.1, 102.2, el equipo de monitoreo 104 puede emitir información correspondiente a través de una salida 110.

El equipo de monitoreo 104 puede ser al menos parte de un dispositivo de cálculo que comprenda medios procesadores, medios de almacenamiento, etc.

- 5 La figura 2 muestra una vista parcial esquemática de otro ejemplo de realización de una instalación química 200 de acuerdo con la presente invención. En comparación con el ejemplo de realización anterior, en este ejemplo de realización está previsto un aparato químico 212 dispuesto entre los sensores redundantes 202.1 y 202.2. El aparato químico 212 puede estar configurado para procesar una sustancia o un fluido. También esta relación estructural entre los sensores redundantes 202.1 y 202.2 puede tenerse en cuenta al detectarse un sensor defectuoso 202.1, 202.2.
- 10 Las señales de sensores correspondientes del primer y del otro sensor 202.1, 202.2 pueden suministrarse a un equipo de monitoreo 204.

- 15 La figura 2a muestra una vista parcial esquemática de un ejemplo de realización de un avión 250 de acuerdo con la presente invención. La velocidad del avión se vigila en este caso mediante los sensores 252.1, 252.2. La primera señal de sensor del primer sensor 252.1 se puede suministrar a un equipo de monitoreo 254 a través de una conexión de comunicación 258. Otra señal de sensor puede ser suministrada por el otro sensor 252.2 al equipo de monitoreo 254 a través de una conexión de comunicación 258. Cada señal de sensor puede formarse a partir de una pluralidad de valores de medición. El equipo de monitoreo 254 está configurado en particular para detectar un sensor defectuoso 252.1, 252.2. Al detectarse un sensor defectuoso 252.1, 252.2, el equipo de monitoreo 254 puede emitir información correspondiente a través de una salida 260.

- 20 A continuación, se explica más detalladamente un ejemplo de realización de un equipo de monitoreo 104, 204, 254.

La figura 3 muestra una vista esquemática de un ejemplo de realización de un equipo de monitoreo 304 de acuerdo con la presente invención. Tal y como puede observarse, el equipo de monitoreo 304 presenta en este caso un primer equipo receptor 314.1 configurado para recibir una primera señal de sensor y otro equipo receptor 314.2 configurado para recibir otra señal de sensor. Como es obvio, también puede estar previsto un equipo receptor común.

- 25 En este caso, las dos señales de sensor se suministran a un equipo de procesamiento 316. El equipo de procesamiento 316 está configurado para generar una primera señal analítica a partir de la primera señal de sensor y para generar al menos otra señal analítica a partir de la otra señal de sensor. Además, el equipo de procesamiento 316 está configurado para determinar al menos una correlación entre la primera señal analítica del primer sensor y la señal analítica del otro sensor o la diferencia entre la primera señal de sensor del primer sensor y la señal de sensor del otro sensor.
- 30

- La correlación o la diferencia puede suministrarse a un equipo comparador 318, que está configurado para su comparación con al menos un rango o límite de correlación o rango o límite de diferencia (predeterminado), respectivamente, admisible. El resultado de la comparación puede suministrarse a un equipo de evaluación 320. El equipo de evaluación 320 está configurado para determinar si al menos un sensor es defectuoso. Esta determinación se realiza en función del resultado de la comparación. Si el equipo de evaluación 320 constata que al menos uno de los sensores vigilados funciona de manera defectuosa, puede transmitírsele a un equipo de salida 322 para emitir, por ejemplo, una advertencia y/o una alarma a través de una salida 310.
- 35

- El equipo de monitoreo descrito anteriormente de la instalación química o del avión se describe a continuación más detalladamente por medio de la figura 4. La figura 4 muestra un diagrama de un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención. Para las siguientes realizaciones, ha de señalarse que los sensores aparecen indicados con el índice "s", y el valor de medición de un sensor con "m".
- 40

En una primera etapa 401, los al menos dos sensores redundantes proporcionan en cada caso una señal de sensor. En particular, un equipo de monitoreo recibe al menos una primera señal de sensor de un primer sensor y otra señal de sensor de otro sensor. El otro sensor forma una referencia para el primer sensor a examinar.

- 45 En contrapartida, el primer sensor es la referencia para el otro sensor. Por consiguiente, siempre pueden examinarse al menos dos sensores de manera conjunta como par de sensores. La detección de un error puede concernir entonces a este par de sensores. El error ha de interpretarse en particular como error relativo. Por lo tanto, un error detectado puede interpretarse como error positivo para un sensor o como error negativo para el otro sensor.

- En una siguiente etapa 402 opcional, se pueden tener en cuenta las relaciones estructurales entre los sensores redundantes, en particular, los retardos causados por la instalación entre la primera señal de sensor y la otra señal de sensor. Un retardo causado por la instalación puede producirse, por ejemplo, por el diferente posicionamiento de medición del primer sensor, por ejemplo, en un primer extremo de un conducto de fluido, y de otro sensor, por ejemplo, en el otro extremo del conducto de fluido (véase la figura 1). Otro ejemplo consiste en que primer sensor esté dispuesto antes de un aparato químico y que otro sensor esté dispuesto después del aparato químico (véase la figura 2).
- 50

- 55 Preferentemente, en la etapa 402, la relación estructural, o bien, el comportamiento dinámico (a grandes rasgos) resultante de esta, puede describirse mediante un elemento de retardo de primer orden (PT1) y/o mediante un

elemento de tiempo muerto (PTm). En los ejemplos descritos anteriormente, el sensor dispuesto delante puede retardarse con el elemento de retardo de primer orden (PT1) o de mayor orden (PTn) o mediante el elemento de tiempo muerto (PTm) para conseguir en particular que las mediciones de ambos sensores se caractericen por la misma dinámica del proceso adaptada temporalmente. Esto hace posible un análisis más fiable del comportamiento de sensor.

- 5 Mediante la medición del flujo volumétrico V entre las dos posiciones de medición, se puede calcular la constante de tiempo $T_{retardo}$ como tiempo de retardo entre las dos posiciones de medición del primer y del otro sensor.

$$T_{retardo} = \frac{V}{\dot{V}}, \quad (1)$$

donde V es el volumen asumido de manera conocida de un conducto de fluido o el volumen de llenado del aparato químico o similares.

- 10 Si en el comportamiento dinámico del aparato situado entre las posiciones de medición se trata de un elemento de retardo de primer orden (PT1), la señal de medición dispuesta delante puede retardarse en el tiempo en particular a través de un filtro PT1:

$$m(t_k) = \frac{T_{retardo}}{T_{muestr} + T_{retardo}} m(t_{k-1}) + \frac{T_{retardo}}{T_{muestr} + T_{retardo}} m_{orig}(t_k), \quad (2)$$

- 15 donde m_{orig} es el valor de medición original y T_{muestr} es el tiempo de muestreo entre los valores de medición, o bien, puntos de datos, medidos y t_k indica el momento actual.

De manera general, el filtrado de la señal de medición se puede formular como sigue a continuación:

$$m(t_k) = filt(m(t_{k-1}), m_{orig}, T_{retardo}, T_{muestr}). \quad (3)$$

- 20 Si en el comportamiento dinámico del aparato situado entre las posiciones de medición se trata de un elemento de tiempo muerto (PTm), la señal de medición posterior puede retardarse preferentemente a través de un desplazamiento temporal,

$$m(t_k) = m_{orig}(t_k - T_{retardo}), \quad (4)$$

donde m_{orig} es el valor de medición original.

Resulta evidente que esta etapa 402 puede suprimirse si entre los sensores no han de tenerse en cuenta relaciones estructurales como los retardos causados por la instalación debido a una posición de medición esencialmente igual.

- 25 En una etapa 403 opcional, las señales de sensor se pueden filtrar para mejorar la calidad de las señales. A modo de ejemplo, puede estar previsto que la primera y/o la otra señal de sensor se preprocese a través de un filtro, como un filtro de primer orden PT1, para filtrar el ruido de medición y/o tendencias a corto plazo de la dinámica:

$$m_f(t_k) = \frac{T_{filt}}{T_{muestr} + T_{filt}} m_f(t_{k-1}) + \frac{T_{filt}}{T_{muestr} + T_{filt}} m(t_k), \quad (5)$$

- 30 donde $m(t_k)$ es la medición del sensor correspondiente en el momento t_k , $m_f(t_k)$ es la medición filtrada, T_{filt} es el tiempo de filtrado, y T_{muestr} es el tiempo de muestreo de la medición (por ejemplo, en el sistema de control del proceso o en el ordenador de análisis separado).

De manera general, el filtrado de la señal de medición se puede formular como sigue a continuación:

$$m_f(t_k) = filt(m_f(t_{k-1}), m(t_k), T_{filt}, T_{muestr}). \quad (6)$$

- 35 A continuación de las etapas 402 y 403 opcionales, en la etapa 404 se puede generar, en particular, calcular, a partir de la primera señal de sensor una primera señal analítica, preferiblemente una desviación estándar, y a partir de la otra señal de sensor, otra señal analítica, preferiblemente una desviación estándar. Tal y como se ha descrito ya, las señales de sensor pueden haber sido preprocesadas en las etapas 402 y 403. A modo de ejemplo, en la etapa 404 se

puede calcular entonces la desviación estándar $x(t_k)$, o bien, $std(t_k)$ de la señal de sensor filtrada a través de un horizonte movido:

$$x(t_k) = std(t_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_f(t_{k-i+1}) - \bar{m}_f(t_k))^2}, \quad (7)$$

donde $\bar{m}_f(t_k)$ es un valor medio que puede calcularse como sigue a continuación:

$$\bar{m}_f(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_f(t_{k-i+1}). \quad (8)$$

El horizonte movido tiene en consideración en particular los puntos de datos o los valores de medición de los últimos n puntos de datos a partir del momento actual. Tal y como ya dice su nombre, el horizonte movido se mueve con tiempo continuado, en particular, con el tiempo real. Si hay disponible un nuevo valor de medición, el último punto de datos queda fuera del horizonte, los puntos de datos remanentes se desplazan hacia atrás en una etapa temporal y el punto de datos actual se añade con el nuevo valor de medición. Por regla general, el cálculo de la señal analítica ((7) y (8)) se puede formular como sigue a continuación:

$$x(t_k) = std(t_k) = std(\text{filt}(m_f(t_k), \dots, m_f(t_{k-n+1}))). \quad (9)$$

En la etapa 404, se pueden generar en particular señales analíticas que sean particularmente apropiadas como punto de partida para la detección de un error por desviación y/o de un error por congelación. En particular, se ha reconocido que, para la detección segura de un error por desviación y/o de un error por congelación, es necesaria una señal analítica con menos valores de datos que durante la detección de un error por impurificación. Para el cálculo de desviación y de congelación que se describe a continuación, la señal analítica $x(t_k)$ puede evaluarse a través de un horizonte n relativamente breve. Por tanto, la vigilancia de los sensores puede realizarse cerca temporalmente de la aparición de posibles errores por desviación y por congelación, mientras que la vigilancia de errores por impurificación puede requerir un mayor horizonte, por lo que los errores por impurificación solo pueden detectarse con retardo. Para el cálculo de la desviación, puede bastar en particular si el proceso se estabiliza durante poco tiempo. También el cálculo de la congelación basado en señales analíticas con un horizonte relativamente breve funciona de manera suficientemente sólida. Para un cálculo sólido de la impurificación son más importantes las tendencias de la dinámica a largo plazo, de modo que una señal analítica $x(t_k)$ separada se puede determinar en este caso a través de un horizonte n más extenso en una etapa 422, tal y como se describirá a continuación.

Con el fin de detectar un error por desviación, en una etapa 406 opcional se puede tener en cuenta al menos una desviación del proceso causada por la instalación. Se puede determinar en particular un valor de corrección $\Delta m_{\text{corrección}}$ que tenga en cuenta la al menos una desviación del proceso causada por la instalación. El valor de corrección $\Delta m_{\text{corrección}}$ puede necesitarse en particular si los valores del proceso de la medición m_2 en el otro sensor difieren por causas de la instalación de los valores del proceso de la medición m_1 en el primer sensor antepuesto. El valor de corrección puede ser conocido y se puede en particular predeterminar.

En una siguiente etapa 408 opcional, se puede comprobar si los datos analíticos (las señales analíticas) son suficientemente estables para la comprobación de la desviación. Toda instalación química está sometida (de manera continua) a modificaciones dinámicas que pueden estar provocadas, por ejemplo, por disfunciones o modificaciones de los valores teóricos. Expresado de otro modo, una instalación química no se conduce continuamente de manera estacionaria. También si los sensores están dispuestos de manera adyacente, los sensores que han de examinarse no se encuentran exactamente en el mismo punto de la instalación química. Esto provoca un retardo causado por la instalación entre las variables físicas que son detectadas por los dos sensores. Estas modificaciones dinámicas a corto plazo, por ejemplo, debidas a disfunciones o modificaciones de los valores teóricos, no se pueden prever con antelación, por lo que tampoco se pueden filtrar de manera similar conforme a la etapa 402. No obstante, han de tenerse en consideración durante la detección de la desviación con el fin de evitar detecciones erróneas. Expresado de otro modo, el objetivo es que no se valore como desviación entre los dos sensores la aparición de modificaciones dinámicas que provoquen valores físicos que difieran entre sí por poco tiempo en las posiciones de los sensores redundantes. Por lo tanto, para una detección particularmente segura de los errores por desviación, en la etapa 408 ha de comprobarse si la primera y la otra señal analítica son suficientemente estacionarias; es decir, que las modificaciones dinámicas en la instalación sean relativamente pequeñas.

Tal y como ya se ha descrito, una señal analítica en forma de desviación estándar es una medida para la dispersión de los datos, o bien, una medida para la estacionariedad de los datos, por tanto, de la señal de sensor correspondiente. Con el fin de asegurar que en la otra determinación de un error por desviación solo se utilizan señales analíticas suficientemente estacionarias, la primera señal analítica $x_1(t_k)$ y la otra señal analítica $x_2(t_k)$ se pueden comparar con al menos un valor límite std_{lim} (predeterminado). En la etapa 408, se puede realizar la siguiente comparación:

$$\begin{aligned} x_1(t_k) &< std_{lim} \\ x_2(t_k) &< std_{lim} \end{aligned} \quad (10)$$

si el resultado de la comparación de (10) es positivo, entonces se puede seguir con la etapa 410. Entonces, se puede determinar en particular la diferencia (=desviación media Δm) entre las señales de sensor en dependencia de las señales analíticas. En el caso de un resultado negativo de la comparación de (10), el proceso se puede interrumpir en particular hasta que la comprobación resulte ser suficientemente positiva.

En la etapa 410, se puede determinar la desviación media Δm , en particular, la magnitud de la desviación media Δm , de los valores de medición m de las señales de sensor. A este respecto, se puede tener en cuenta el valor de corrección $\Delta m_{corrección}$ determinado en la etapa 406. Preferentemente, el equipo de procesamiento puede llevar a cabo el siguiente cálculo en la etapa 412:

$$\Delta m = \left| m_{f,2}(t_k) - m_{f,1}(t_k) + \Delta m_{corrección} \right|. \quad (11)$$

El equipo comparador puede comparar en la etapa 412 la desviación media Δm , en particular, la magnitud de la desviación media Δm , determinada en la etapa 410 con una desviación admisible. Preferentemente, la desviación Δm puede escalarse de antemano al rango de medición del sensor. Se puede realizar la siguiente operación de comparación:

$$\left| \frac{\Delta m}{\text{Rango de medición}} \right| < off_{lim}. \quad (12)$$

En particular, se comprueba de acuerdo con (12) si la desviación media Δm se encuentra dentro de un rango admisible, por lo tanto, que no supere un valor límite off_{lim} (predeterminado). Dependiendo del resultado de la comparación, el equipo de evaluación determina en particular si hay un sensor defectuoso. Si se supera el valor límite off_{lim} , es decir, si la desviación entre las señales de sensor se encuentra por tanto en un rango inadmisibles, uno de los dos sensores redundantes presenta un error, en particular, un error por desviación.

En la siguiente etapa 414, con un resultado de la comparación de este tipo se puede emitir una advertencia y/o una alarma. A modo de ejemplo, puede estar previsto que primero se emita solo una advertencia para evitar una falsa alarma. Si esta advertencia se repite en etapas de muestreo consecutivas repet_{desviación} [donde además el proceso habría de ser estacionario en las etapas de muestreo (10)], puede producirse una alarma a través del comportamiento erróneo del par de sensores.

La figura 5 muestra una gráfica con una evolución a modo de ejemplo de una primera señal de sensor 532 y de otra señal de sensor 534. Con el símbolo de referencia 536 se indica el momento a partir del cual se produce un error por desviación. Resulta evidente que las evoluciones mostradas son evoluciones esquemáticas.

Tal y como se ha descrito ya, puede estar previsto de manera adicional o alternativa que mediante el procedimiento se detecte un error por congelación de un sensor determinándose una correlación en función de las señales analíticas generadas en la etapa 404, tal y como se expone a continuación. En particular, el cálculo de la congelación puede realizarse a través de una evaluación de las correlaciones cruzadas de las dos señales analíticas.

En la etapa 416, a partir de la primera señal analítica $x_1(t_k)$ y la otra señal analítica $x_2(t_k)$ se puede determinar una señal diferencial Δx :

$$\Delta x = x_2(t_k) - x_1(t_k). \quad (13)$$

Tal y como se ha descrito ya, aquí se entiende por "congelación" que la señal de sensor de un sensor esté congelada en un valor constante y que, por tanto, su desviación estándar, esto es, la señal analítica, se convierta en cero.

Entonces, en la etapa 416 se pueden analizar las correlaciones cruzadas entre la señal diferencial Δx y la señal analítica $x_1(t_k)$ del primer sensor y la señal diferencial Δx y la señal analítica $x_2(t_k)$ del otro sensor. A modo de ejemplo, para el análisis se puede compilar la señal analítica (9) respectiva (por ejemplo, 1.000 valores de medición) a través de un intervalo p con la extensión n_{congel} . Si el intervalo p está lleno de puntos de datos de la señal analítica, se calculan las correlaciones cruzadas entre la señal diferencial Δx y la señal analítica $x_1(t_k)$.

Esto se corresponde con la covariancia $cov_{x_1, \Delta x, p}$ entre la señal analítica $x_{1,p}$ y la señal diferencial Δx_p :

$$cov_{x_1, \Delta x, p} = cov(x_{1,p}, \Delta x_p). \quad (14)$$

De manera correspondiente, se pueden calcular las correlaciones cruzadas entre la señal diferencial Δx y la señal analítica $x_2(t_k)$. Esto se corresponde con la covariancia $COV_{x_2, \Delta x, p}$ entre la señal analítica $x_{2,p}$ y la señal diferencial Δx_p :

$$COV_{x_2, \Delta x, p} = COV(x_{2,p}, \Delta x_p). \quad (15)$$

- 5 A continuación, se describe una posibilidad detallada para la determinación de la covariancia. La covariancia entre la señal diferencial Δx y la señal analítica $x_1(t_k)$ se puede calcular como sigue a continuación:

$$COV_{x_1, \Delta x, p} = \frac{1}{n_{congel} - 1} \sum_{i=1}^{n_{congel}} (x_1(t_{k-i+1}) - \bar{x}_{1,p}) * (\Delta x(t_{k-i+1}) - \bar{x}_p). \quad (16)$$

De manera correspondiente, se pueden calcular las correlaciones cruzadas entre la señal diferencial Δx y la señal analítica $x_2(t_k)$:

$$COV_{x_2, \Delta x, p} = \frac{1}{n_{congel} - 1} \sum_{i=1}^{n_{congel}} (x_2(t_{k-i+1}) - \bar{x}_{2,p}) * (\Delta x(t_{k-i+1}) - \bar{x}_p). \quad (17)$$

- 10 Para los cálculos, se calculan el valor medio $\bar{x}_{1,p}$ de la primera señal analítica $x_1(t_k)$

$$\bar{x}_{1,p} = \frac{1}{n_{congel}} \sum_{i=1}^{n_{congel}} x_1(t_{k-i+1}) \quad (18)$$

el valor medio $\bar{x}_{2,p}$ de la otra señal analítica $x_2(t_k)$

$$\bar{x}_{2,p} = \frac{1}{n_{congel}} \sum_{i=1}^{n_{congel}} x_2(t_{k-i+1}) \quad (19)$$

- 15 y el valor medio \bar{x}_p de la señal diferencial Δx

$$\bar{x}_p = \frac{1}{n_{congel}} \sum_{i=1}^{n_{congel}} \Delta x(t_{k-i+1}) \quad (20)$$

Este cálculo se puede realizar tan pronto como el intervalo actual esté lleno de n_{congel} datos, o bien, valores de medición. Si el intervalo y el cálculo de la congelación han finalizado, se pueden recopilar los datos actuales (del momento actual) para el siguiente intervalo hasta que haya de nuevo n_{congel} datos.

- 20 A continuación, en la etapa 416 se determina como correlación la relación entre las dos correlaciones cruzadas $COV_{x_1, \Delta x, p}$ y $COV_{x_2, \Delta x, p}$. La relación puede compararse en una etapa de comparación 418 con un rango de relación (predeterminado) admisible. A modo de ejemplo, se puede predeterminar un valor límite $ratio_{congelación, tol}$ (por ejemplo, $ratio_{congelación, tol} = 1.000$). Si la relación queda dentro del rango de relación admisible, no se da ningún error. De lo contrario, se puede deducir la existencia de un sensor defectuoso. Si se da un error, el sensor defectuoso se puede identificar en particular como sigue a continuación. Si es así, la relación queda entonces en otro rango parcial inadmisibles.
- 25

$$\left| \frac{COV_{x_1, \Delta x, p}}{COV_{x_2, \Delta x, p}} \right| > ratio_{congelación, tol} \quad (21)$$

El otro sensor es defectuoso (está congelado). Si es así, la relación queda entonces en un primer rango parcial inadmisibles.

$$\left| \frac{\text{COV}_{x2,\Delta x,p}}{\text{COV}_{x1,\Delta x,p}} \right| > \text{ratio}_{\text{congelación, tol}} \quad (22)$$

El primer sensor es defectuoso (está congelado).

En estos casos, en la etapa 420 se puede emitir una advertencia y/o una alarma. A modo de ejemplo, puede estar previsto que primero se emita solo una advertencia para evitar una falsa alarma. En particular, si se cumplen (21) o (22), se puede emitir una advertencia para el sensor correspondiente. Si esta advertencia se repite en intervalos consecutivos $\text{repet}_{\text{congelación}}$ (predeterminados), se puede producir una alarma acerca del comportamiento erróneo del sensor identificado.

La figura 6 muestra una gráfica con una primera señal analítica 638 a modo de ejemplo, otra señal analítica 640 a modo de ejemplo y una señal diferencial 642 resultante de estas señales 638, 640. Con el símbolo de referencia 644 se representa el momento a partir del cual el otro sensor está congelado, por lo que la señal analítica resultante da como resultado 0. Tal y como puede observarse, hay una correlación entre la señal analítica de la otra señal y la señal diferencial de las señales analíticas. De ello puede deducirse que el primer sensor está congelado. Resulta evidente que las evoluciones mostradas son evoluciones esquemáticas.

Tal y como se ha descrito ya, puede estar previsto de manera adicional o alternativa que a través del procedimiento se detecte un error por impurificación de un sensor. La detección de un error por impurificación puede producirse también a través de la evaluación de las correlaciones cruzadas de las dos señales analíticas. Esta puede basarse en la maximización de la covariancia entre las señales analíticas. Las señales analíticas descritas anteriormente de los dos sensores redundantes pueden almacenarse durante un intervalo q con una extensión $(n_{\text{impurificación}} + 2 \cdot z_{\text{máx}})$. El intervalo q está ampliado en particular en los datos $2 \cdot z_{\text{máx}}$. $2 \cdot z_{\text{máx}}$ representa en este caso el espacio de búsqueda del cálculo de la impurificación presentado abajo. $n_{\text{impurificación}}$ representa en este caso la extensión del verdadero núcleo del intervalo q . El análisis relativo a la impurificación se puede llevar a cabo tan pronto como el intervalo q esté lleno de datos. Para el cálculo de la impurificación, es importante que en el intervalo q haya un conjunto de datos significativo que se caracterice por una dinámica suficiente en los datos. Por lo tanto, el núcleo del intervalo $n_{\text{impurificación}}$ se debe escoger con la suficiente duración, de modo que se puedan puentear aquellos intervalos de tiempo en los que el proceso transcurre de manera estacionaria. La extensión $n_{\text{impurificación}}$ del núcleo del intervalo puede escogerse constante. De manera alternativa, la extensión $n_{\text{impurificación}}$ también se puede mantener variable. En este sentido, la extensión se puede calcular a través de un cálculo opcional efectuado en la etapa 424 de tal modo que los datos estén estimulados por una dinámica suficiente para hacer posible una detección aún más segura de los errores por impurificación.

En particular, tras la generación de una primera señal analítica y de otra señal analítica en la etapa 422, se puede realizar la siguiente determinación: el objetivo de la determinación es en particular que en ambas señales analíticas los puntos de datos se encuentren en cada caso en el intervalo con una dinámica suficiente. Un punto de datos de medición dinámico se caracteriza en este caso por un comportamiento dinámico en comparación con sus puntos de datos de medición adyacentes; es decir, que la primera derivada no es constante con respecto al tiempo en el punto de datos considerado, el valor del proceso o valor de medición no aumenta (o desciende) por tanto con una pendiente constante o es estacionario. La segunda derivada es una medida de que la primera derivada es constante con respecto al tiempo en el punto de datos considerado.

La determinación de la etapa 424 para el cálculo de la extensión de los intervalos examina en particular la segunda derivada de un punto de datos, o bien, valor de medición, en relación con el tiempo. En este sentido, se utiliza la señal del valor de medición $m_{f,k}$ filtrado (6).

Para el punto de datos $m_{f,k}$ en el momento t_k , en el momento t_{k-2} se puede calcular la segunda derivada $\Delta^2 m_{f,k}$ con tiempo de muestreo T_{muest} mediante los puntos de datos $m_{f,k-1}$ adyacentes en el momento t_{k-1} , y $m_{f,k-2}$:

$$\Delta^2 m_{f,k} = \frac{m_{f,k} - 2m_{f,k-1} + m_{f,k-2}}{T_{\text{muest}}^2} \quad (23)$$

Los puntos de datos que, por ejemplo, cumplan la condición para un comportamiento no dinámico,

$$\left| \Delta^2 m_{f,k} \right| < \varepsilon_{\text{din}} \quad (24)$$

pueden reunirse en la cantidad de datos $n_{\text{impurificación, no din}}$. ε_{din} es una pequeña tolerancia (predeterminable) positiva que sirve en este caso de medida para el comportamiento dinámico.

$$n_{\text{impurificación, no din}} \left(\left| \Delta^2 m_{f,k} \right| < \varepsilon_{\text{din}} \right) \quad (25)$$

Los $n_{\text{impurificación, no din}}$ puntos de datos del intervalo q no son especialmente adecuados para la detección de impurificaciones. Los datos que sean suficientemente dinámicos, por lo que no cumplen la condición (24), se compilan en la cantidad de datos $n_{\text{impurificación, din}}$:

$$n_{\text{impurificación, din}} \left(\left| \Delta^2 m_{f,k} \right| \geq \varepsilon_{\text{din}} \right). \quad (26)$$

Si se detectan puntos de datos no dinámicos en un intervalo q , la extensión $n_{\text{impurificación}}$ del núcleo del intervalo q se puede ampliar de tal modo que la condición (predeterminada) relativa a la dinámica de al menos $n_{\text{impurificación, din, min}}$ puntos de datos dinámicos está contenida en el intervalo q para al menos un sensor. Preferentemente, la condición relativa a la dinámica se requiere para ambos sensores tal y como se expone en la fórmula (27).

$$n_{\text{impurificación}} > \max(n_{\text{impurificación, no din, s}} + n_{\text{impurificación, din, min}}) \quad (27)$$

En este sentido, el índice s hace referencia al primer sensor o, en su caso, al otro sensor. Dicho de otro modo, en el intervalo q debe haber puntos de datos, o bien, valores de medición, suficientemente dinámicos preferiblemente para los dos sensores.

En la etapa 426, el equipo de procesamiento puede entonces maximizar la correlación cruzada entre los dos sensores desplazándose la primera señal analítica del primer sensor con respecto a la otra señal analítica del otro sensor de tal modo que se armonicen ambas señales analíticas.

La maximización de la correlación cruzada se puede conseguir en particular maximizándose la covariancia entre la primera señal analítica y la otra señal analítica a lo largo del intervalo q por medio del desplazamiento de la otra señal analítica. El desplazamiento de la otra señal analítica puede producirse en dirección negativa o positiva a través de z etapas temporales. La covariancia cov_q se puede maximizar como grado de libertad en el intervalo q mediante z , donde z es la cantidad de etapas temporales en la que la otra señal analítica es desplazada. El desplazamiento z puede estar limitado en $[-z_{\text{máx}}, z_{\text{máx}}]$. En el intervalo q , la covariancia cov_q se calcula mediante las señales analíticas:

$$\begin{aligned} & \max_z \text{cov}_q \\ \text{s.t. } \text{cov}_q &= \text{COV}(x_1(t_{k-z_{\text{máx}}}), \dots, x_1(t_{k-n_{\text{impurificación}}+1-z_{\text{máx}}}), x_2(t_{k-z_{\text{máx}}+z}), \dots, x_2(t_{k-n_{\text{impurificación}}+1-z_{\text{máx}}+z})) \quad (28) \\ & z \in [-z_{\text{máx}}, z_{\text{máx}}]. \end{aligned}$$

La maximización para la primera señal analítica x_1 y la otra señal analítica puede producirse en particular como sigue a continuación:

$$\begin{aligned} & \max_z \text{cov}_q \\ \text{s.t. } \text{cov}_q &= \frac{1}{n_{\text{impurificación}}-1} \sum_{i=1}^{n_{\text{impurificación}}} (x_1(t_{k-i+1-z_{\text{máx}}}) - \bar{x}_{1,q}) * (x_2(t_{k-i+1-z_{\text{máx}}+z}) - \bar{x}_{2,q}) \quad (29) \\ & z \in [-z_{\text{máx}}, z_{\text{máx}}], \end{aligned}$$

donde

$$\bar{x}_{1,q} = \frac{1}{n_{\text{impurificación}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{impurificación}}} x_1(t_{k-i+1-z_{\text{máx}}}) \quad (30)$$

y

$$\bar{x}_{2,q} = \frac{1}{n_{\text{impurificación}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{impurificación}}} x_2(t_{k-i+1-z_{\text{máx}}+z}). \quad (31)$$

5 A partir del desplazamiento z realizado, por lo tanto, la cantidad z de puntos de datos con los que se ha desplazado la otra señal analítica x_2 , y del tiempo de muestreo T_{muestra} , se puede determinar como condición de correlación el tiempo de impurificación τ . A modo de ejemplo, el tiempo de impurificación τ se puede calcular como sigue a continuación:

$$\tau = T_{\text{muestra}} * z. \quad (32)$$

En una etapa de comparación 428, esta condición de correlación se puede comparar con un rango de tiempo de impurificación admisible.

$$|\tau| > \tau_{\text{adv}} \quad (33)$$

10 Dependiendo del resultado de la comparación, se determina si hay un sensor defectuoso. Si se supera el valor límite τ_{adv} , por lo que la condición de correlación se encuentra en un rango inadmisibles, uno de los dos sensores redundantes presenta un error, en particular, un error por impurificación.

15 En la siguiente etapa 430, se puede emitir una advertencia y/o una alarma. A modo de ejemplo, puede estar previsto que primero se emita solo una advertencia para evitar una falsa alarma. En el caso de que esta advertencia se repita en intervalos consecutivos repet_{impurificación} (predeterminables), puede producirse una alarma a través del comportamiento erróneo del par de sensores.

20 La figura 7 muestra una gráfica a modo de ejemplo con una primera señal analítica 746, otra señal analítica 750 y la señal analítica 748 desplazada en 752. 752 es en este sentido la constante de tiempo resultante del cálculo, que se denomina tiempo de impurificación. Resulta evidente que las evoluciones mostradas son evoluciones esquemáticas. El espacio de búsqueda se indica con el símbolo de referencia 754.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento implementado en ordenador para monitorear al menos dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2), que están dispuestos en particular en una instalación química (100, 200) o en un avión (250), que comprende:

- 5 a) proporcionar una primera señal de sensor de un primer sensor (102.1, 202.1, 252.1) de los dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2), donde la primera señal de sensor comprende al menos un valor de medición,
- b) proporcionar al menos otra señal de sensor de otro sensor (102.2, 202.2, 252.2) de los dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 251.1, 252.2), donde la otra señal de sensor comprende al menos otro valor de medición,
- 10 c) generar al menos una primera señal analítica a partir de la primera señal de sensor, donde como primera señal analítica se genera una segunda derivada de la primera señal de sensor,
- d) generar al menos otra señal analítica a partir de la otra señal de sensor, donde como otra señal analítica se genera una segunda derivada de la otra señal de sensor,
- 15 e) selección de un horizonte temporal para las señales de sensor de a), b) mediante la comparación de las señales analíticas de c) y d) con una medida límite predefinida para la dispersión, la estacionariedad, o bien, la dinámica de la señal de sensor, donde el horizonte temporal se determina habiendo una cantidad mínima de puntos de datos que se caracterizan por una segunda derivada temporal cuya magnitud se encuentra por encima de un valor límite predeterminado de la dinámica de la segunda derivada,
- 20 f) determinar al menos una correlación entre la primera señal analítica del primer sensor y la señal analítica del otro sensor,
- g) comparar la correlación con al menos un intervalo de correlación admisible o la diferencia con un intervalo de diferencia admisible, y
- 25 h) determinar si, de los dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202. 2;252.1, 252.2), al menos un sensor (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2) es defectuoso en función del resultado de la comparación según g),
- i) emitir la determinación según h).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque,**

- en la etapa c), se genera una desviación estándar de la primera señal de sensor, y
- en la etapa d), se genera una desviación estándar de la otra señal de sensor, y

30 en la etapa e), el horizonte es un horizonte movido en el que la desviación estándar de la primera señal de sensor y la desviación estándar de la otra señal de sensor, en cada caso para el mismo espacio de tiempo o, en su caso, para los mismos momentos, no superan un límite de estacionariedad predeterminado, en la etapa f), se determina la desviación media entre el al menos un valor de medición de la primera señal de sensor y el al menos un valor de medición de la otra señal de sensor, y, en la etapa g), la desviación media se compara con una desviación media admisible.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque,**

- en la etapa c), se genera adicionalmente una desviación estándar de la primera señal de sensor, y
- en la etapa d), se genera adicionalmente una desviación estándar de la otra señal de sensor y

en la etapa f),

40 se determina una señal diferencial a partir de la desviación estándar de la primera señal de sensor y la desviación estándar de la otra señal de sensor, a continuación,

- se determina una primera correlación cruzada entre la señal diferencial determinada y la desviación estándar de la primera señal de sensor, y
- se determina otra correlación cruzada entre la señal diferencial determinada y la desviación estándar de la otra señal de sensor,
- 45 - se determina la relación de la primera correlación cruzada y la otra correlación cruzada, y
- en la etapa g), se compara la relación determinada con un intervalo de relación admisible.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque,** si la relación calculada se encuentra fuera del intervalo de relación admisible, el sensor defectuoso es aquel sensor con la menor magnitud de la correlación cruzada y se emite un mensaje correspondiente.

5. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque:**

- en la etapa c), como otra señal analítica de la primera señal de sensor se genera una desviación estándar de la primera señal de sensor, y
- en la etapa d), como otra señal analítica de la otra señal de sensor se genera una desviación estándar de la otra señal de sensor, y
- 55 - en la etapa f), la determinación de una correlación comprende maximizar la correlación cruzada entre la

desviación estándar de la primera señal de sensor y la desviación estándar de la otra señal de sensor.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la correlación cruzada se maximiza maximizándose la covarianza entre la desviación estándar de la primera señal de sensor 1 y la desviación estándar de la otra señal de sensor a través de diferentes desfases temporales (ΔT).

5 7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque**

- se determina un tiempo de impurificación como correlación a partir del desfase temporal efectuado,
- el tiempo de impurificación se compara con un lapso de tiempo de impurificación admisible, y
- dependiendo del resultado de la comparación, se determina si hay un sensor defectuoso (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2).

10 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**

- se determina la distancia espacial entre el primer sensor (102.1, 202.1, 252.1) y el otro sensor (102.2, 202.2, 252.2), y
- al menos una de las señales de sensor proporcionadas se procesa temporalmente en función de una medición del flujo volumétrico y de la distancia espacial entre los sensores (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2).

15 9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque**

- aquella de las señales de sensor proporcionadas con un elemento de retardo de al menos primer orden se procesa temporalmente en función de la distancia espacial entre el primer sensor (102.1, 202.1, 252.1) y el otro sensor (102.2, 202.2, 252.2), y/o
- aquella de las señales de sensor proporcionadas con un elemento de tiempo muerto se procesa temporalmente en función de la medición del flujo volumétrico y de la distancia espacial entre el sensor (102.1, 202.1, 252.1) y el otro sensor (102.2, 202.2, 252.2).

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, antes de determinarse la primera señal analítica y/o la otra señal analítica, en una etapa de filtrado se filtra al menos una de las señales de sensor captadas de tal modo que de la señal de sensor se elimina por filtrado al menos el ruido de medición.

25 11. Equipo de monitoreo (104, 204, 254, 304) para monitorear de acuerdo con el procedimiento según la reivindicación 1 al menos dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2), que están dispuestos en particular en una instalación química (100, 200) o en un avión (250), que comprende:

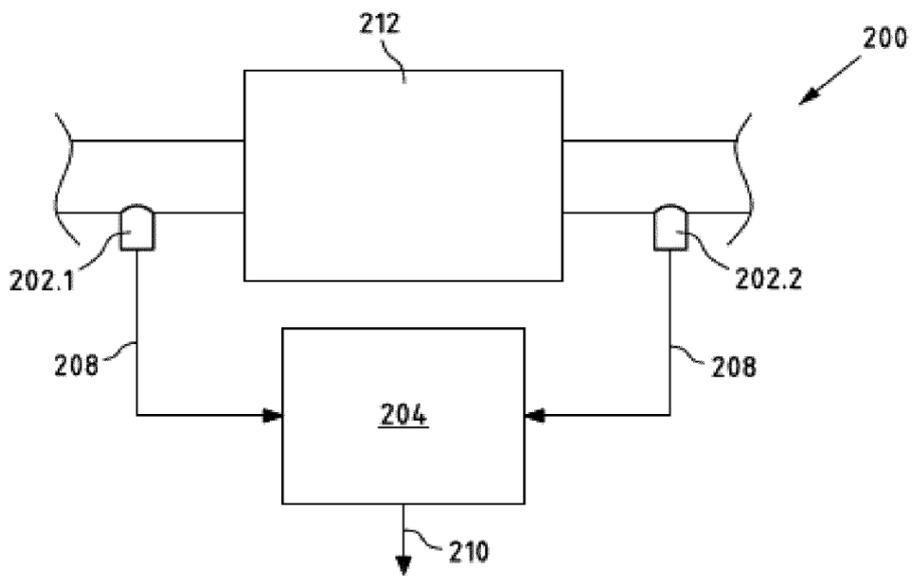
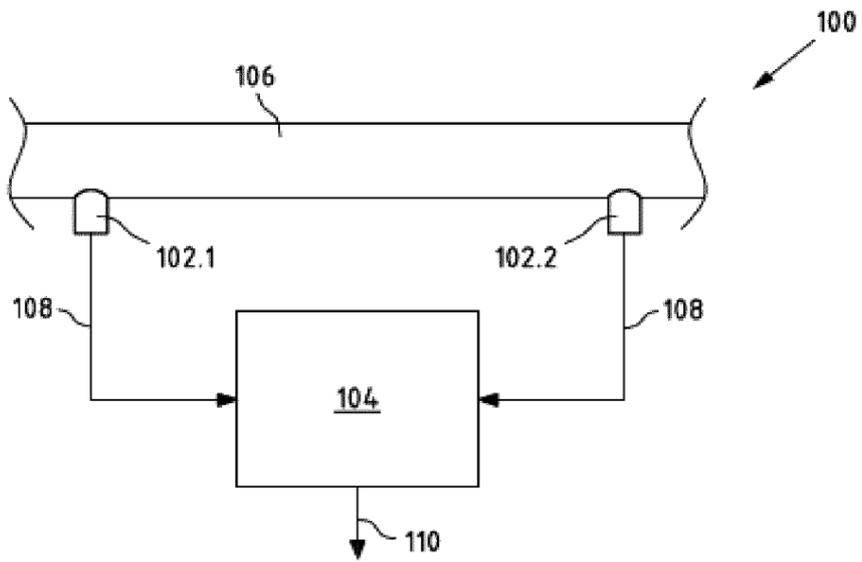
- al menos un equipo receptor (314.1, 314.2) configurado para recibir una primera señal de sensor de un primer sensor (102.1, 202.1, 252.1) de los dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2) y para recibir al menos otra señal de sensor de otro sensor (102.2, 202.2, 252.2) de los dos sensores redundantes (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2),
- donde la primera señal de sensor comprende al menos un valor de medición y la otra señal de sensor comprende al menos un valor de medición,
- al menos un equipo de procesamiento (316) configurado para generar una primera señal analítica a partir de la primera señal de sensor y para generar al menos otra señal analítica a partir de la otra señal de sensor,
- donde el equipo de procesamiento (316) está configurado para determinar al menos una condición de correlación entre la primera señal de sensor y la otra señal de sensor al menos en función de la primera señal analítica y de la otra señal analítica,
- al menos un equipo comparador (318) configurado para comparar la condición de correlación con al menos un intervalo de correlación admisible, y
- al menos un equipo de evaluación (320) configurado para determinar si al menos un sensor (102.1, 102.2; 202.1, 202.2; 252.1, 252.2) es defectuoso dependiendo del resultado de la comparación.

12. Instalación química (100, 200), que comprende:

- al menos dos sensores redundantes (102.1, 102.2, 202.1, 202.2), y
- al menos un equipo de monitoreo (104, 204, 304) según la reivindicación 11.

13. Avión (250), que comprende:

- al menos dos sensores redundantes (252.1, 252.2), y
- al menos un equipo de monitoreo (254, 304) según la reivindicación 11.



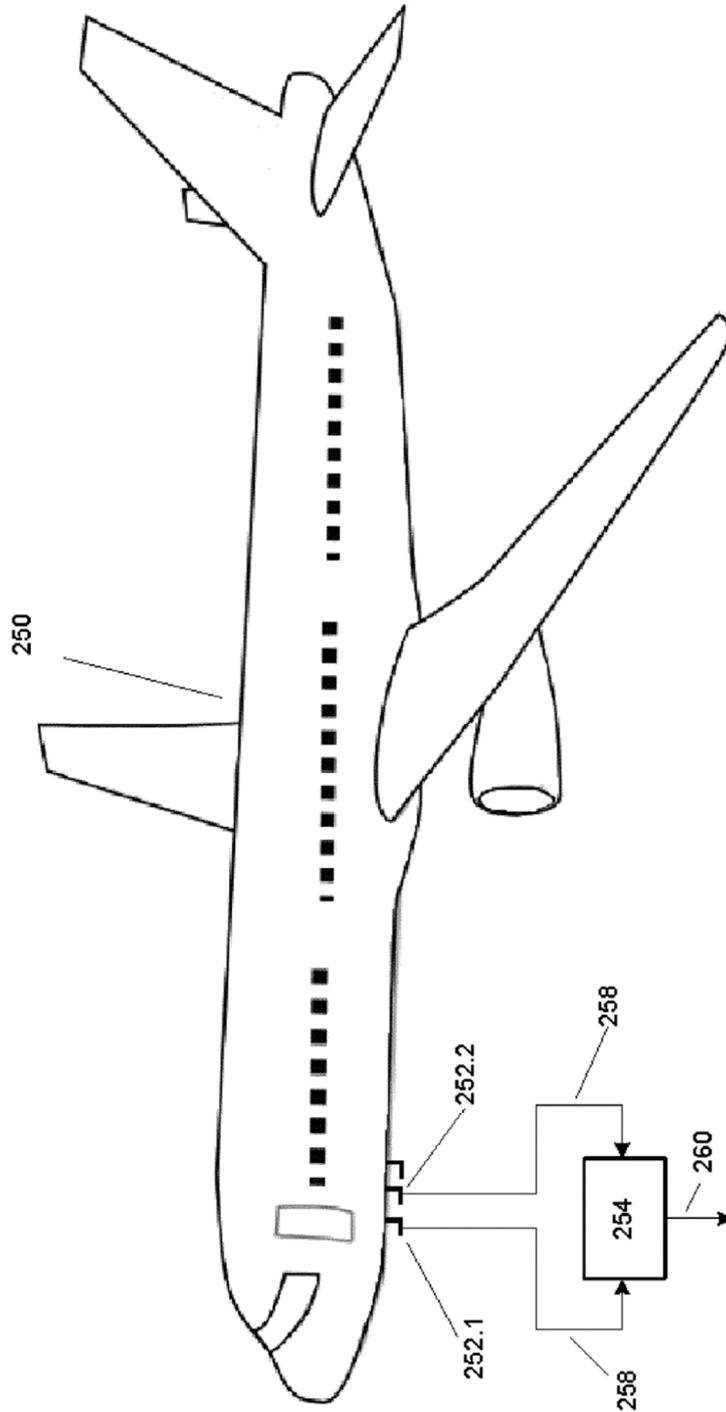


Fig. 2a

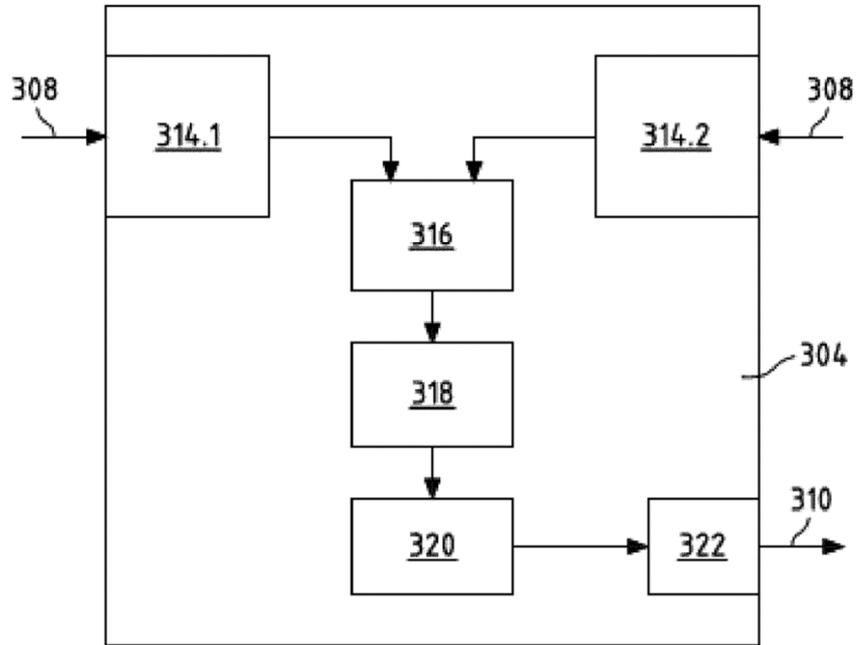


Fig.3

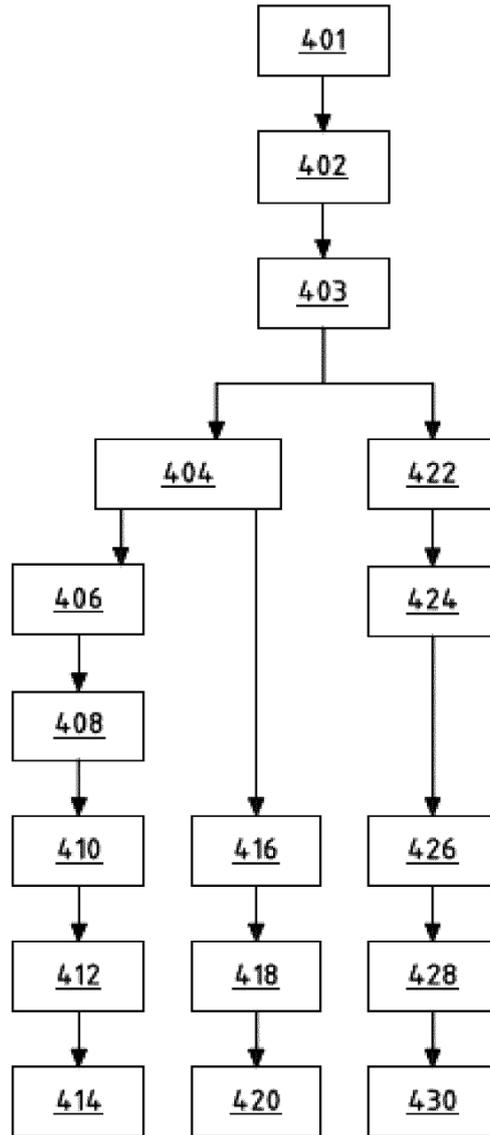


Fig.4

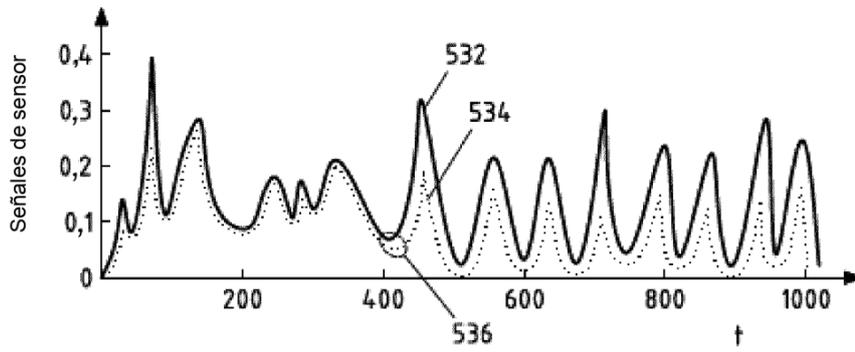


Fig.5

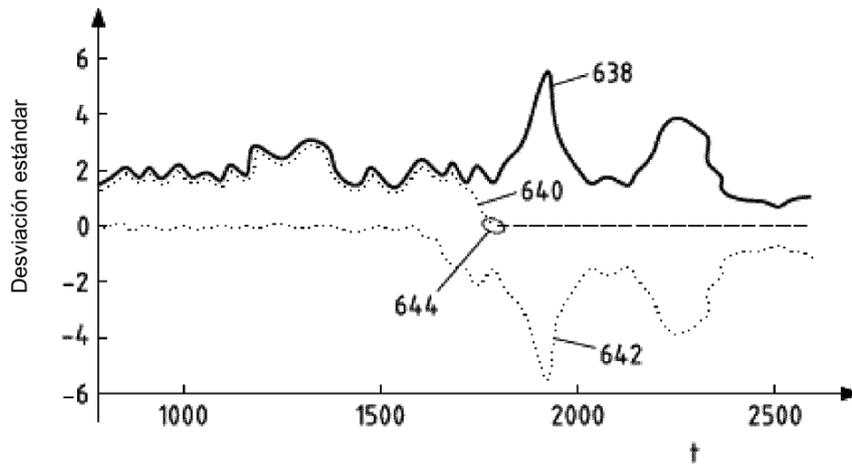


Fig.6

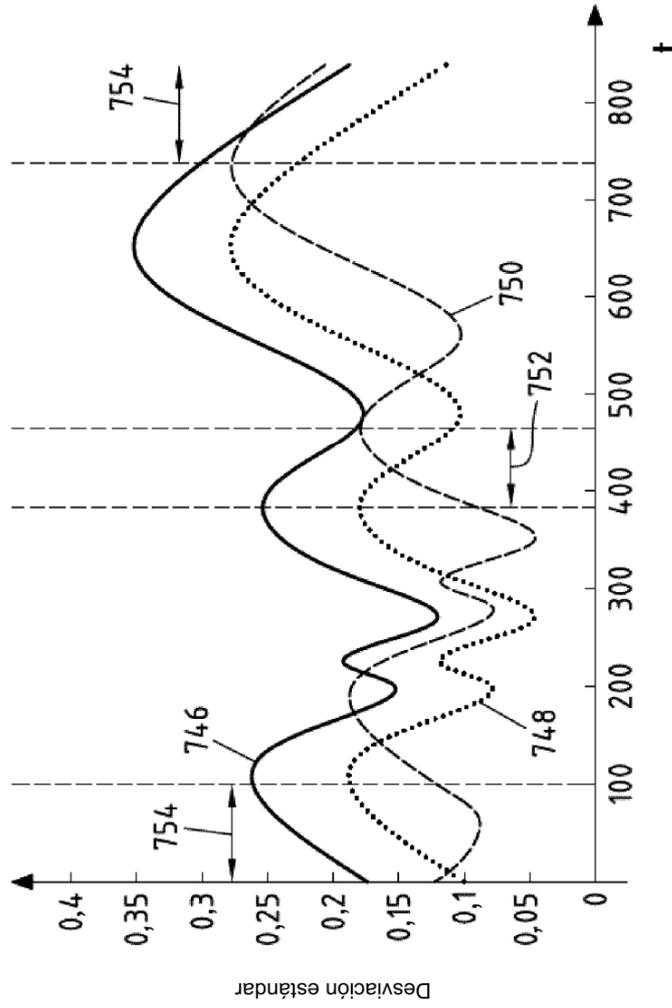


Fig.7