



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 331 576**

51 Int. Cl.:
G05B 19/418 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05706510 .4**
96 Fecha de presentación : **15.02.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1877877**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.01.2008**

54 Título: **Dispositivo de diagnóstico para un sistema de control de proceso.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.01.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.01.2010

73 Titular/es: **ABB RESEARCH Ltd.**
Affolternstrasse 52
8050 Zürich, CH

72 Inventor/es: **Andenna, Andrea;**
Moroni, Andrea y
Invernizzi, Giovanni

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 331 576 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

Dispositivo de diagnóstico para un sistema de control de proceso.

5 Campo técnico

La invención se refiere al campo del diagnóstico de dispositivos de proceso, tales como los que se usan en procesos industriales o científicos, y en particular al campo del diagnóstico de dispositivos de proceso usando una variable de proceso detectada de dicho proceso. Se refiere a métodos y aparatos de acuerdo con la cláusula de apertura de las reivindicaciones.

Estado de la técnica

Se conoce un dispositivo de diagnóstico y método de diagnóstico de este tipo por la publicación de patente US 6 601 005. El dispositivo detecta valores de variables de proceso tales como, por ejemplo, valores de presión o de flujo, y los propios procesos para extraer a partir de ellos señales de interferencias de vibración que lleva un medio de proceso (por ejemplo, líquido, gas) del proceso. Después se valúa dicha señal procesada relacionada con la vibración, terminando la evaluación en una salida que indica que algún dispositivo de control (por ejemplo, una bomba o válvula) del proceso tiene un fallo. En el método descrito en el documento US 6 601 005 mencionado anteriormente se sugiere el uso de la transformada wavelet (wavelet) o la transformada de Fourier o una red neural o análisis estadístico, u otras técnicas de evaluación de señales para obtener la señal procesada. Por lo que respecta a la evaluación de la señal procesada, se sugiere comparar la señal o señales procesadas con un valor límite seleccionable o una serie de valores límite. Por ejemplo, si se ha usado una transformada wavelet para obtener la señal procesada, se comprobará para cada coeficiente wavelet calculado, si ha excedido un valor límite correspondiente. Si al menos un coeficiente wavelet ha excedido su valor límite correspondiente, se indicará un fallo (de algún dispositivo o dispositivos de control con los que se relaciona el coeficiente wavelet).

Además, en el documento US 6 601 005 mencionado anteriormente se describe la eliminación de variaciones de proceso conocidas que pueden deberse a ciertas actividades de proceso, a partir de valores de variables de proceso. Esto se hace restando datos modelados de datos (de valores de variables de proceso) recogidos durante la operación. Es de esperar que después de la resta sólo queden anomalías y éstas se evalúan. Si, por ejemplo, las variaciones de proceso conocidas se deben a cambios en la temperatura ambiental, que pueden producirse durante el día y que influyen en los valores de la variable de proceso, pueden tomarse varias series de datos a diferentes tiempos durante el día cuando el proceso funciona sin fallos. Estas series de datos de operación normal “plana” de base se emplean como series de datos modelados de los que, por ejemplo, una red neural puede elegir el apropiado, que después se resta de los datos recogidos durante la operación para que queden únicamente señales anormales. Tanto los modelos como los datos recogidos durante la operación son datos transformados wavelet, de forma que los coeficientes wavelet correspondientes se restan entre sí para retirar las variaciones del proceso conocidas y producir valores a comparar con valores límite prescriptibles.

La elección de los valores límite con los que se compara la señal procesada es muy importante para la fiabilidad de la salida del dispositivo de diagnóstico (“fallo”/“no fallo”). Es deseable proporcionar bases fiables para la salida de diagnóstico del dispositivo de diagnóstico.

45 Sumario de la invención

Por lo tanto, un objetivo de la invención es crear un dispositivo de diagnóstico y un método de diagnóstico que proporcionen bases fiables para una salida de diagnóstico del dispositivo de diagnóstico. También es un objetivo de la invención crear otros dispositivos y sistemas que incorporen este dispositivo de diagnóstico o método de diagnóstico.

El problema se resuelve por medio de aparatos y métodos con las características de las reivindicaciones independientes.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de diagnóstico comprende

- un medio de recepción para recibir valores de variable de proceso de una variable de proceso de un medio de proceso de un proceso,
- un medio de procesamiento de mediciones para extraer y registrar datos estadísticos de medición a partir de dichos valores de variable de proceso, que se miden durante una fase de medición,
- un medio de procesamiento de formación para extraer y registrar datos estadísticos de formación a partir de dichos valores de la variable de proceso, que se miden durante una fase de formación, y
- un medio de comparación para comparar los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación registrados antes que los datos estadísticos de medición.

ES 2 331 576 T3

Gracias a esto, es posible proporcionar bases fiables para la salida de diagnóstico del dispositivo de diagnóstico. En particular, es posible proporcionar una fiabilidad prescriptible de la salida de diagnóstico del dispositivo de diagnóstico y/o es posible proporcionar un nivel de confianza de la salida (indicación de certeza de la salida “fallo”/“no fallo”).

5 El dispositivo de diagnóstico puede ser cualquier dispositivo o combinación de dispositivos que puede recibir valores de la variable de proceso y procesarlos de la forma descrita. Puede ser un transmisor, un dispositivo de monitorización del proceso o un sistema de monitorización del proceso, un controlador o un sistema de control del proceso, un ordenador personal o similar. El dispositivo de diagnóstico preferiblemente es adecuado para usarse en un sistema de control de proceso. Puede aplicarse en un sistema de control.

10 El dispositivo de diagnóstico puede estar integrado en un transmisor, en un dispositivo de monitorización del proceso, en un controlador o similar. El dispositivo de diagnóstico puede ponerse en práctica, por ejemplo, en un medidor de flujo, un transmisor de presión o un transmisor de presión diferencial.

15 En una realización preferida, el dispositivo de diagnóstico comprende un medio de detección para medir la variable de proceso y para generar los valores de la variable de proceso. Los valores de la variable de proceso generados después pueden transmitirse a los medios de recepción. Gracias a los medios de detección, el dispositivo de diagnóstico puede tener simultáneamente la función de un transmisor y/o un monitor del proceso. El dispositivo de diagnóstico puede usarse como un dispositivo de proceso autónomo.

20 El medio de recepción recibe valores de la variable de proceso y puede ser, por ejemplo, una interfaz o un puerto, realizados en el hardware y/o software. Las posibles variables de proceso incluyen el flujo, la presión, la presión diferencial, el nivel, la temperatura o similares. Los valores de la variable de proceso son valores de una variable de proceso o valores de una medida relacionada con la variable de proceso, por ejemplo, puede haber alguna relación funcional (por ejemplo lineal) entre los valores de la variable de proceso y los valores respectivos de la variable de proceso en una unidad dada.

25 El medio de proceso típicamente es un fluido. En particular, puede ser un gas o un líquido o una mezcla de éstos, o una mezcla de éstos más componentes sólidos, por ejemplo, una emulsión.

30 El medio de procesamiento de mediciones es un medio (realizado en el hardware y/o en el software) para procesar valores de la variable de proceso medidos (capturados) durante una fase de medición, de tal forma que se generan datos estadísticos de medición a partir de los valores de la variable de proceso. El procesamiento puede incluir diversos tipos de cálculos, por ejemplo cálculos aritméticos y transformaciones tales como la transformada de Fourier o la transformada wavelet. Los datos estadísticos de medición se registran (almacenan) para proporcionar una salida o para procesarse adicionalmente.

35 Por “fase de medición” se entiende un período de tiempo y/o un modo del dispositivo de diagnóstico en los que el dispositivo de diagnóstico realiza su función “normal”, es decir realiza un diagnóstico. Éste es el estado de operación normal del dispositivo de diagnóstico, en el que el dispositivo de diagnóstico se usa normalmente. Durante la fase de medición, el dispositivo de diagnóstico puede diagnosticar el proceso y, en particular, detectar un fallo en el proceso, por ejemplo, un fallo de un dispositivo de proceso o incluso un fallo de un transmisor u otro dispositivo de proceso en el que está integrado el dispositivo de diagnóstico.

40 Por “fase de formación” se entiende un periodo de tiempo y/o un modo del dispositivo de diagnóstico en los que el dispositivo de diagnóstico recibe valores de la variable de proceso, que es de esperar que sean representativos de una operación normal (típicamente sin fallos) del proceso. Va a recibir información estadística sobre el proceso, que posteriormente puede compararse con la información estadística sobre el proceso capturada durante una fase de medición.

45 Los datos estadísticos de medición son la información estadística derivada de los valores de la variable de proceso que se capturan o se miden durante una fase de medición. Los datos estadísticos de medición pueden ser un punto o un grupo de puntos seleccionados a partir del grupo que comprende el valor medio (por ejemplo la media aritmética), el error cuadrático medio, la desviación típica, la varianza, o la distribución estadística. También puede ser un valor o una serie de valores obtenidos a partir de uno o más miembros de ese grupo. La distribución estadística puede ser una distribución empírica o puede ser una distribución analítica (teórica), típicamente una distribución ajustada. Una distribución ajustada o curva ajustada preferiblemente significa el mejor ajuste con respecto a algún criterio, por ejemplo, un ajuste por mínimos cuadrados.

50 Los datos estadísticos de formación son información estadística obtenida a partir de valores de la variable de proceso que se capturan o se miden durante la fase de formación. Los datos estadísticos de formación pueden ser un punto o un grupo de puntos seleccionados del grupo que comprende el valor medio (por ejemplo la media aritmética), el error cuadrático medio, la desviación típica, la varianza o la distribución estadística. También puede ser un valor o una serie de valores (por ejemplo, valores límite) obtenidos a partir de uno o más miembros de ese grupo. La distribución estadística puede ser una distribución empírica o puede ser una distribución ajustada (teórica).

ES 2 331 576 T3

El medio de procesamiento de formación es un medio (realizado en el hardware y/o en el software) para procesar valores de la variable de proceso medidos (capturados) durante una fase de formación, de tal forma que se generen datos estadísticos de formación a partir de los valores de la variable de proceso. El procesamiento puede incluir diversos tipos de cálculos, por ejemplo, aritméticos o transformaciones tales como la transformada de Fourier o la transformada wavelet. Los datos estadísticos de formación se registran (almacenan) para una salida o procesamiento adicional.

El medio de comparación (realizado en el hardware y/o en el software) compara los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación. A partir de la salida de los medios de comparación puede deducirse que probablemente se habrá producido algún fallo en el proceso. Debido a la comparación de los datos estadísticos se obtiene una base sólida y fiable para una salida de diagnóstico, ya que se ha evaluado un número considerable de valores de la variable de proceso para generar los datos estadísticos. Además, debido a la comparación de los datos estadísticos es posible estimar o prescribir la probabilidad de la exactitud de una salida de diagnóstico. Es decir, puede proporcionarse una indicación de salida de fallo (o ausencia de fallo) con una indicación de un nivel de confianza asociado con la indicación de fallo (o ausencia de fallo), o se proporciona una indicación de salida de fallo (o ausencia de fallo) sólo si la indicación tiene al menos un nivel de confianza prescriptible (indicación de grado de certeza). Por consiguiente, una salida de diagnóstico de un dispositivo de diagnóstico tiene un valor añadido considerable si se basa en la comparación de los datos estadísticos de medición con los datos estadísticos de formación como se ha puesto en práctica en el medio de comparación.

Los “medios” mencionados anteriormente (medio de recepción, medio de procesamiento de mediciones, medio de procesamiento de formación, medio de comparación y medio de detección) también podrían denominarse “unidades”. Estos medios, en particular el medio de recepción, el medio de procesamiento de mediciones, el medio de procesamiento de formación y el medio de comparación, pueden ser parcial o totalmente idénticos, en particular si se realizan en forma de software y/o hardware.

En una realización preferida, el medio de comparación tiene una salida de condición relacionada con una condición del proceso, donde la condición del proceso es diferente de una medida para la variable de proceso. Por consiguiente, una salida de diagnóstico del dispositivo de diagnóstico preferiblemente no es una magnitud que indique valores de la variable de proceso. Por ejemplo, si la variable de proceso es la velocidad de flujo del medio de proceso, la condición del proceso puede ser, por ejemplo, una condición de una bomba, por ejemplo indicada por su velocidad de bombeo, o una condición de otro dispositivo del proceso, en particular un dispositivo de control del proceso.

En particular, si el dispositivo de diagnóstico comprende un medio de detección, la salida de la condición puede relacionarse con la condición del medio de detección.

Por consiguiente, en este caso la salida de condición está relacionada con la condición del dispositivo de diagnóstico de forma que el dispositivo de diagnóstico proporcione una característica de autodiagnóstico.

En otra realización preferida, los datos estadísticos de medición y los datos estadísticos de formación están relacionados con interferencias que lleva el medio del proceso. Estas interferencias pueden ser, por ejemplo, interferencias de vibración. Las interferencias pueden proceder de un dispositivo de proceso.

De acuerdo con la invención, el medio de procesamiento de formación calcula una distribución estadística empírica de formación. La distribución estadística empírica de formación es una distribución relacionada con valores de la variable de proceso medidos durante una fase de formación. En una realización, puede ser una distribución de valores de la variable de proceso o, más generalmente, de una función de valores de la variable de proceso, por ejemplo, el cuadrado de los valores de la variable de proceso o la suma de los cuadrados de los valores de la variable de proceso. En otra realización, puede ser una distribución de valores procedentes de una transformada de valores de la variable de proceso.

En la última realización, preferiblemente el medio de procesamiento de mediciones calcula una transformada de valores de la variable de proceso que se miden durante una fase de medición, en coeficientes $X_m(k)$ de una serie de funciones ortogonales, y el medio de procesamiento de formación calcula una transformada (del mismo tipo) de valores de la variable de proceso que se miden durante una fase de formación, en coeficientes $X_f(k)$ de la misma serie de funciones ortogonales, y la distribución estadística empírica de formación es una distribución de una función de los coeficientes $X_f(k)$. La distribución estadística empírica de formación puede ser, por ejemplo, una distribución de los coeficientes $X_f(k)$ o de los coeficientes $X_f(k)$ al cuadrado; también son posibles otras funciones, preferiblemente aritméticas. Preferiblemente, las funciones ortogonales son funciones ortonormales.

La transformada puede ser preferiblemente una del grupo de la transformada de Fourier y la transformada wavelet.

De acuerdo con la invención, el medio de procesamiento de formación calcula una función de distribución analítica de formación que se aproxima a la distribución estadística empírica de formación. Es decir, una función prescriptible con uno, dos o más parámetros se ajusta a la distribución estadística empírica de formación. De esta manera, se recoge un máximo de información de alta precisión a partir de los datos medidos y se reduce la influencia de desviaciones estadísticas durante la fase de formación.

ES 2 331 576 T3

Se ha descubierto que la función de distribución Gamma proporciona un ajuste particularmente preciso a distribuciones estadísticas empíricas de formación típicas, al menos por lo que respecta a las distribuciones estadísticas empíricas de formación de valores derivados de coeficientes de Fourier.

5 En una realización preferida, los datos estadísticos de medición comprenden un valor medio M_p de una función de valores de la variable de proceso, que se miden durante una fase de medición: por ejemplo, el valor medio M_p puede cogerse de los propios valores de la variable de proceso o del cuadrado de los valores de la variable de proceso. El medio de procesamiento de formación calcula, como datos estadísticos de formación o como parte de los mismos, un valor límite inferior $L_{t,p}$ y un valor límite superior $U_{t,p}$ a partir de la función de distribución analítica de formación. Y, preferiblemente, el medio de comparación proporciona una indicación de fallo en caso de que el valor medio M_p que sea menor que el valor límite inferior $L_{t,p}$ o mayor que el valor límite superior $U_{t,p}$. Esta realización tiene la ventaja de que el valor límite inferior $L_{t,p}$ y el valor límite superior $U_{t,p}$ pueden elegirse de tal forma que se consiga un nivel de confianza prescriptible (mínimo) de la salida de diagnóstico, ya que estos valores límite se obtienen a partir de una distribución estadística. Además, la precisión con la que pueden determinarse los valores límite que corresponden a un nivel de confianza deseado (mínimo) es muy alta porque los valores límite proceden de la función de distribución analítica de formación (ajustada). Otra ventaja de esta realización es que el esfuerzo de procesamiento necesario para obtener la salida de diagnóstico es relativamente bajo con respecto a la calidad, en particular la fiabilidad y solidez de la salida de diagnóstico.

20 Otra realización preferida funciona de forma similar, pero con valores de la variable de proceso transformados, y tiene ventajas correspondientes: en esta realización, los datos estadísticos de medición comprenden un valor medio M_c de una función de los coeficientes $X_m(k)$ y el medio de procesamiento de formación calcula, como datos estadísticos de formación o como parte de los mismos, un valor límite inferior $L_{t,c}$ y un valor límite superior $U_{t,c}$ a partir de la función de distribución analítica de formación, y preferiblemente, el medio de comparación proporciona una indicación de fallo en caso de que el valor medio M_c sea menor que el valor límite inferior $L_{t,c}$ o mayor que el valor límite superior $U_{t,c}$. El valor medio M_c puede hacer referencia, por ejemplo, a los coeficientes $X_m(k)$ directamente o a los coeficientes $X_m(k)$ al cuadrado u otra función, preferiblemente aritmética, de los coeficientes $X_m(k)$.

25 En lugar del valor medio, o además de este valor, es posible usar la varianza o la desviación típica en las realizaciones preferidas mencionadas anteriormente.

De acuerdo con la invención, los datos estadísticos de medición comprenden una distribución estadística empírica de mediciones que es una distribución de una función de valores de la variable de proceso que se miden durante una fase de medición, y los datos estadísticos de formación comprenden la función de distribución analítica de formación. El medio de comparación compara la distribución estadística empírica de medición con la función de distribución analítica de formación. El medio de comparación puede proporcionar una indicación de fallo dependiendo del resultado de la comparación de la distribución estadística empírica de medición con la función de distribución analítica de formación. Preferiblemente, el medio de comparación proporciona una indicación de fallo en caso de que el nivel de confianza derivado de un ensayo estadístico de la consistencia de la distribución estadística empírica de medición con la función de distribución analítica de formación esté por debajo de un valor umbral prescriptible. En esta realización, se calcula y se compara una distribución de valores medidos actualmente, preferiblemente en un ensayo estadístico, con una distribución analítica que se ha ajustado a una distribución medida durante la fase de formación. Por medio del valor umbral puede elegirse un nivel de confianza deseado de la salida de diagnóstico.

45 En dicha realización es posible comparar la distribución estadística empírica de medición con la distribución estadística empírica de formación en lugar de con la función de distribución analítica de formación.

De forma similar a esta realización, otro aspecto de la invención tiene ventajas correspondientes, pero maneja distribuciones estadísticas derivadas de valores de la variable de proceso transformados: en esta realización, los datos estadísticos de medición comprenden una distribución estadística empírica de medición que es una distribución de una función de los coeficientes $X_m(k)$ (por ejemplo, una distribución de los propios coeficientes $X_m(k)$ o del cuadrado de los coeficientes $X_m(k)$ o ...), y los datos estadísticos de formación comprenden la función de distribución analítica de formación. El medio de comparación puede proporcionar una indicación de fallo dependiendo del resultado de una comparación de la distribución estadística empírica de medición con la función de distribución analítica de formación. Preferiblemente, el medio de comparación proporciona una indicación de fallo en caso de que el nivel de confianza derivado de un ensayo estadístico de la consistencia de la distribución estadística empírica de medición con la función de distribución analítica de formación esté por debajo de un valor umbral prescriptible. En esta realización, se calcula y se compara una distribución de coeficientes derivados de valores medidos actualmente, preferiblemente en un ensayo estadístico, con una distribución analítica que se ha ajustado a una distribución obtenida durante la fase de formación. Por medio del valor umbral puede elegirse un nivel de confianza deseado de la salida de diagnóstico.

En dicha realización es posible comparar la distribución estadística empírica de medición con la distribución estadística empírica de formación en lugar de con la función de distribución analítica de formación.

65 Los ensayos estadísticos que se han considerado particularmente útiles para la comparación de distribuciones en estas realizaciones son ensayos de ajuste, en particular el ensayo χ^2 y el ensayo de Kolmogorov-Smirnov.

ES 2 331 576 T3

Otra realización comprende no sólo dispositivos de diagnóstico del tipo mencionado anteriormente, sino también transmisores, dispositivos de control de proceso, dispositivos de monitorización de proceso y sistemas de control de proceso que comprenden dicho dispositivo de diagnóstico:

5 Las ventajas de éstos corresponden a las ventajas de los dispositivos de diagnóstico.

La invención también comprende métodos de diagnóstico de acuerdo con las reivindicaciones 21 y 24 y, en particular, comprende las etapas de:

10 - obtener valores de la variable de proceso que proceden de la medición de una variable de proceso de un medio de proceso de un proceso,

15 - extraer y registrar datos estadísticos de medición a partir de dichos valores de la variable de proceso, que se miden durante una fase de medición,

15 - extraer y registrar datos estadísticos de formación a partir de dichos valores de la variable de proceso, que se miden durante una fase de formación, y

20 - comparar los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación registrados antes que los datos estadísticos de medición.

El método de diagnóstico preferiblemente es un método realizado en un medio de control de proceso.

25 Pueden obtenerse otros métodos de diagnóstico de acuerdo con la invención a partir de los dispositivos de diagnóstico de acuerdo con la invención. Las ventajas de los métodos corresponden a las ventajas de los dispositivos de diagnóstico.

30 Otra realización comprende además transmisores, dispositivos de control de proceso, dispositivos de monitorización de proceso y sistemas de control de proceso, que ponen en práctica un dispositivo de diagnóstico de acuerdo con la invención.

A partir de las reivindicaciones dependientes y las figuras surgen otras realizaciones preferidas y ventajas.

Breve descripción de los dibujos

35 A continuación, la invención se ilustra con más detalle por medio de realizaciones preferidas que se muestran en los dibujos incluidos: las figuras muestran:

40 Fig. 1 una ilustración esquemática de un medio de control de proceso que incluye un dispositivo de diagnóstico;

Fig. 2 esquemáticamente un dispositivo de diagnóstico con un medio de detección, que incorpora un transmisor de presión diferencial;

45 Fig. 3 un diagrama de bloques de un algoritmo básico de un dispositivo de diagnóstico;

Fig. 4 un diagrama de bloques que incluye una fase de formación de un dispositivo de diagnóstico;

Fig. 5 un diagrama de bloques que incluye una fase de medición de un dispositivo de diagnóstico;

50 Fig. 6 un diagrama de bloques de etapas realizadas en un medio de procesamiento de formación;

Fig. 7 un diagrama de bloques de etapas realizadas en un medio de procesamiento de mediciones y un medio de comparación;

55 Fig. 8 un diagrama de bloques de etapas realizadas en un medio de procesamiento de mediciones;

Fig. 9 un diagrama de bloques de etapas realizadas en un medio de procesamiento de formación, que incluye una transformada de Fourier;

60 Fig. 10 un diagrama de bloques de etapas realizadas en un medio de procesamiento de mediciones, que incluye una transformada de Fourier;

Fig. 11 un diagrama de bloques de etapas realizadas en un medio de procesamiento de mediciones, que incluye una transformada de Fourier, usando una pluralidad de bandas de frecuencia;

65 Fig. 12 una ilustración de datos que se toman para crear valores “medios” móviles durante una fase de medición, que incluye una transformada de Fourier.

ES 2 331 576 T3

Los símbolos de referencia usados en las figuras y su significado se resumen en la lista de símbolos de referencia. En general, las partes similares o con una función similar tienen los mismos símbolos de referencia. Las realizaciones descritas se entienden como ejemplos y no limitan a la invención.

5 Formas de poner en práctica la invención

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente un entorno de control de proceso 1 típico con un dispositivo de diagnóstico 10. El dispositivo de diagnóstico 10 comprende un transmisor de presión diferencial 20 que tiene dos líneas de impulso 21 a través de las cuales se acopla a un medio de proceso 2 del entorno de control de proceso 1. El transmisor de presión diferencial 20 también puede considerarse un dispositivo de monitorización de proceso 20, que monitoriza una presión diferencial en el medio de proceso 2. El medio de proceso 2 puede ser, por ejemplo, un líquido tal como agua o aceite, que está contenido en un tubo 3. En el entorno de control de proceso 1 se proporcionan dispositivos de control de proceso tales como una bomba 50 (que incluye un control de bomba 51) y una válvula 60 (que incluye un control de válvula 61). Los dispositivos de control de proceso 10, 20, 50 y 60 están conectados a un sistema de control de proceso 5 que típicamente se basa en un ordenador. El sistema de control de proceso 5 también puede considerarse un dispositivo de control de proceso 5 que (por medio de la conexión con el dispositivo de diagnóstico 10) incorpora (comprende) el dispositivo de diagnóstico 10.

Por medio del flujo del medio de proceso 2 (indicado por flechas) y, además, por medio de los dispositivos de control de proceso 50, 60, se generan interferencias en el medio de proceso 2. Estas interferencias pueden detectarse por medio del dispositivo de diagnóstico 10 en el detector de presión diferencial 20. Un cambio en las condiciones de proceso, por ejemplo, un mal funcionamiento o un fallo de un dispositivo de proceso 20, 50, 60 puede reflejarse en la señal de presión diferencial detectada.

La Fig. 2 muestra esquemáticamente el transmisor de presión diferencial, que es un ejemplo de un dispositivo de diagnóstico 10 con un medio de detección 25. El medio de detección 25 comprende las dos líneas de impulso 21, que están rellenas con medio del proceso 2, y un sistema de detección (elemento de detección) 26. Para cada línea de impulso 21 se proporciona una membrana de proceso 22 y un brazo de transmisión de presión 23. Los brazos de transmisión de presión 23 (circuitos de aceite 23) están rellenos con aceite 24 como medio de detección 24. Las membranas de proceso 22 son una interfaz entre las líneas de impulso 21 (que contienen medio de proceso 2) y los circuitos de aceite 23 (que contienen medio de detección 24). A través del brazo de transmisión de presión 23, las presiones del proceso (en las líneas de impulso 21) se transfieren al sistema de detección 26.

Entre otros, el sistema de detección 26 puede basarse en uno o más de los siguientes principios que permiten obtener una señal medible eléctricamente a partir de la presión diferencial:

- Inducción (la presión diferencial modula la inductancia de un circuito magnético)
- Piezorresistividad (la presión diferencial modula un voltaje de salida de un elemento piezorresistivo).
- Capacitancia (la presión diferencial modula la capacidad de un circuito eléctrico).

La señal obtenida de esta forma después se digitaliza en un convertidor analógico-digital 27. Entonces, un microprocesador 15 del dispositivo de diagnóstico 10 puede obtener información de diagnóstico a partir de la señal de presión diferencial digitalizada.

Por una parte, el dispositivo de diagnóstico 10 puede diagnosticar la condición y fallos de diversos dispositivos de proceso tales como 50 y 60. Por otra parte (además o alternativamente), el dispositivo de diagnóstico 10 también puede diagnosticar la condición y fallos del medio de detección 25. En particular, pueden producirse los siguientes fallos y pueden detectarse por el dispositivo de diagnóstico 10:

- 1. Al menos uno de los circuitos de aceite 23 tiene una fuga.
- 2. La interfaz entre los dos circuitos de aceite 23 (normalmente otra membrana) está dañada, de forma que el medio de detección 24 puede fluir entre los dos circuitos 23.
- 3. Al menos una de las membranas de proceso 22 está rota, de forma que el medio del proceso 2 puede fluir al interior de al menos uno de los brazos de transmisión de presión.
- 4. Al menos una de las líneas de impulso 21 está parcial o completamente obstruida.

Son razones frecuentes para que haya una línea de impulso obstruida (fallo 4):

- Está presente material sólido en el medio de proceso 2 y bloquea la línea de impulso 21.
- Tiene lugar algún proceso sedimentario en la línea de impulso 21 y progresivamente obstruye la línea de impulso (por ejemplo cal).

ES 2 331 576 T3

- El medio de proceso presente en la línea de impulso 21 se solidifica, típicamente debido a las bajas temperaturas. (Esto puede ocurrir aunque el medio de proceso 2 en el resto del proceso no se solidifique, porque el medio del proceso 2 en las líneas de impulso 21 está principalmente inmóvil, mientras que el medio del proceso 2 en el proceso normalmente está fluyendo y por lo tanto no está inmóvil).

5

Tiene una importancia considerable tener información de diagnóstico sobre la condición del propio medio de detección 25 (y el dispositivo de diagnóstico 10 o el transmisor 20). En particular, si la información de diagnóstico puede distinguirse entre (algunos de) los modos de fallo mencionados anteriormente.

10

Durante el funcionamiento normal, cuando no está presente ningún defecto (fallo) del dispositivo, es ventajoso que un dispositivo de diagnóstico, que usa al menos dos líneas de impulso (por ejemplo, para un dispositivo que usa una señal de presión o presión diferencial derivada de estas al menos dos líneas de impulso), mida la presión en dos puntos que están dispuestos próximos entre sí. Es decir, es ventajoso que las localizaciones en las que dichas al menos dos líneas de impulso están acopladas con el resto del medio de proceso estén muy próximas. La ventaja es que los valores absolutos medidos son pequeños y se anula la mayor parte de las fluctuaciones en el fluido de proceso.

15

Cuando está presente un fallo, tal como un fallo de tipo 1, 3 ó 4 (véase anteriormente), estando afectada sólo una línea de impulso (o no hay ninguna línea de impulso), la presión en un lado no puede detectarse de forma apropiada. La consiguiente asimetría en el sistema de medición implica que ya no se anulan las fluctuaciones de presión y por lo tanto están presentes en la señal de presión diferencial. Esto implica que se produce una mayor señal global, en particular estando presentes componentes de mayor frecuencia, y por lo tanto puede diagnosticarse el defecto del dispositivo. Si, por otra parte, se produce un fallo de tipo 2, o de tipo 1, 3 ó 4 estando afectadas las dos líneas de impulso, la intensidad de la señal medida se reduce fuertemente permitiendo de esta manera detectar dicho fallo.

20

25

Por medio de un análisis adicional de los datos de la variable de proceso y/o los datos estadísticos de medición puede obtenerse una información más detallada que puede permitir especificar más claramente el tipo de fallo que se produce.

30

En el diagrama de bloques de la Fig. 3 se esboza un algoritmo básico preferido para el funcionamiento de un dispositivo de diagnóstico 10 de acuerdo con la invención. En primer lugar, el dispositivo de diagnóstico instalado, es decir, principalmente el dispositivo de diagnóstico se acopla al proceso. Después tiene lugar una fase de formación 200 en la que se generan datos estadísticos de formación. Posteriormente, si las condiciones nominales del proceso no cambian, se introduce una fase de medición 300. Si en cualquier momento se cambian las condiciones nominales del proceso, por ejemplo, por la instalación de un nuevo dispositivo de proceso, debe eliminarse otra fase de formación 200 antes de introducir el modo de medición 300 de nuevo.

35

La Fig. 4 muestra un diagrama de bloques que incluye una fase de formación 200 de un dispositivo de diagnóstico. En un medio de recepción 100 se reciben valores de la variable del proceso $x(t)$, tales como valores de presión diferencial, por ejemplo, haciendo referencia a la Fig. 2, a partir de un convertidor A/D 27. En un medio de procesamiento de formación 200, se extraen datos estadísticos de formación a partir de los valores de la variable de proceso $x(t)$ y se registran. Haciendo referencia a la Fig. 2, el medio de procesamiento de formación 200 (como otros medios implicados), puede realizarse a través del microprocesador 15.

40

45

La Fig. 5 muestra un diagrama de bloques que incluye una fase de medición 300 de un dispositivo de diagnóstico. En un (o en el) medio de recepción 100 se reciben valores de la variable de proceso $x(t)$, por ejemplo, haciendo referencia a la Fig. 2, a partir del convertidor A/D 27. En un medio de procesamiento de mediciones 300, se extraen datos estadísticos de medición a partir de los valores de la variable de proceso $x(t)$ y se registran. Haciendo referencia a la Fig. 2, el medio de procesamiento de mediciones 300 puede realizarse a través del microprocesador 15. En un medio de comparación 400, que también puede realizarse a través del microprocesador 15, los datos estadísticos de medición se comparan con los datos estadísticos de formación. La comparación proporciona como resultado una salida de diagnóstico 500 que, por ejemplo, indica un fallo (general) del proceso o un fallo específico.

50

En el diagrama de bloques de la Fig. 6, se representan esquemáticamente etapas realizadas en un medio de procesamiento de formación 200 ilustrativo. Durante un periodo de tiempo δt , se registran valores de la variable de proceso $x(t)$ (etapa 210). A partir de estos valores de la variable de proceso, en la etapa 250, se calcula una distribución estadística empírica de formación. En la etapa 270, se ajusta una función de distribución analítica de formación a la distribución estadística empírica de formación. Este ajuste opcional de una función de distribución analítica de formación permite recibir datos muy precisos en un tiempo minimizado δt .

55

60

Como se muestra en la etapa 290, a partir de la función de distribución analítica de formación pueden obtenerse valores límite $L_{t,p}$, $U_{t,p}$ con alta precisión. La elección de un nivel prescriptible K permite elegir estos valores límite $L_{t,p}$, $U_{t,p}$ de tal forma que tanto la probabilidad de la existencia de un valor por debajo de $L_{t,p}$ como la probabilidad de la existencia de un valor por encima de $U_{t,p}$, tengan un valor definido. Si los valores límite $L_{t,p}$, $U_{t,p}$ se eligen de tal forma que la probabilidad de la existencia de un valor por debajo de $L_{t,p}$ es igual a la probabilidad de la existencia de un valor por encima de $U_{t,p}$, normalmente se elegirá un nivel K prescriptible para encontrar el valor límite inferior $L_{t,p}$, y se elegirá otro nivel prescriptible K (diferente) para encontrar el valor límite superior $U_{t,p}$ (no mostrado en la Fig. 6).

65

ES 2 331 576 T3

Estos valores límite $L_{t,p}$, $U_{t,p}$ también pueden obtenerse a partir de la propia distribución estadística empírica de formación (directamente sin ajuste). Pero la precisión es peor y/o debe elegirse un período de tiempo δt necesario para registrar los valores de la variable de proceso $x(t)$ más largo.

- 5 Si sólo se usa la función de distribución analítica de formación o incluso sólo se usa la distribución estadística empírica de formación como datos estadísticos de formación durante las etapas adicionales en una fase de medición, puede omitirse la etapa 290 o incluso también la etapa 270.

10 El diagrama de bloques de la Fig. 7 muestra etapas que pueden realizarse en un medio de procesamiento de mediciones 300 y un medio de comparación 400. En esta realización, que puede usarse junto con la fase de formación representada en la Fig. 6, en primer lugar se registran valores de la variable de proceso $x(t)$ durante una ventana de tiempo δt (etapa 310). La duración de δt en la fase de formación (compárese con la Fig. 6, etapa 210) típicamente es del orden de 10 a 50 veces mayor que el periodo δt durante una fase de medición. En la etapa 390, se calcula el valor medio M_p de los valores de la variable de proceso registrada. En el medio de comparación, etapa 420, se comparan los datos estadísticos de medición con los datos estadísticos de formación: el valor medio M_p se compara con los dos valores límite $L_{t,p}$, $U_{t,p}$ obtenidos a partir de la fase de formación (Fig. 6, etapa 290). Si M_p está dentro del intervalo proporcionado por $L_{t,p}$, $U_{t,p}$, es de esperar que la condición del proceso esté en orden. En caso contrario, la salida de diagnóstico indicará un "fallo".

20 Ventajosamente, es posible calcular una media móvil en la etapa 390. Esto significa que después del cálculo de un valor medio M_p , el siguiente valor medio M_p se calcula a partir de valores de la variable de proceso medidos en el intervalo de tiempo δt , que solapa con el intervalo de tiempo δt , en el que se midieron los valores de la variable de proceso que conducen al primer valor medio M_p . Típicamente, se elige un solapamiento grande, en particular tal que sólo se descarta el primer valor $x(t)$ y se añade un valor medido nuevamente $x(t)$ cuando se calcula el siguiente valor medio M_p . Trabajando con una media móvil se tiene la ventaja de que se generan más datos y más salidas de diagnóstico por tiempo, y los datos se suavizan, es decir, se reduce el efecto que tienen los salientes individuales. Como alternativa, no hay solapamiento entre los intervalos de tiempo δt en los que se miden los valores de la variable de proceso que conducen a valores medios consecutivos M_p .

30 En el diagrama de bloques de la Fig. 8 se representa otra serie posible de etapas que pueden realizarse en un medio de procesamiento de mediciones 300 y un medio de comparación 400. En este caso, se compara una distribución de valores de la variable de proceso $x(t)$ como datos estadísticos de medición con una función de distribución estadística de formación obtenida en la formación (Fig. 6, etapa 270) como datos estadísticos de formación. En esta realización, que puede usarse junto con la fase de formación representada en la Fig. 6 (donde puede excluirse la etapa 290), en primer lugar se registran valores de la variable de proceso $x(t)$ durante una ventana de tiempo δt (etapa 310). A partir de los valores de $x(t)$ se calcula una distribución estadística de medición (etapa 250). En el medio de comparación, la distribución estadística empírica de medición (como datos estadísticos de medición) se compara con la función de distribución estadística de formación (etapa 450). Esta comparación se realiza en un ensayo estadístico, por ejemplo, en un ensayo χ^2 . Como resultado del ensayo estadístico se obtiene un nivel de confianza que indica la probabilidad de una coincidencia entre las distribuciones comparadas. En el caso del ensayo χ^2 , es un posible valor que indica el nivel de confianza alguna función que aumenta inversamente con χ^2 , tal como, por ejemplo, $1/\chi^2$. En la etapa 480, el nivel de confianza obtenido (indicado como $1/\chi^2$) se compara con un valor umbral prescriptible K' . Si el nivel de confianza está por debajo del valor umbral K' , la salida de diagnóstico indicará un "fallo". En caso contrario es de esperar que la condición del proceso esté en orden.

45 En esta realización de la Fig. 8, también es posible usar la distribución estadística empírica de formación obtenida en la etapa 250 (Fig. 6) como datos estadísticos de formación. En este caso, la distribución estadística empírica de medición y la distribución estadística empírica de formación se someterían a un ensayo estadístico en la etapa 450.

50 De forma análoga al uso de una media móvil junto con la Fig. 7, es posible en la realización de la Fig. 8 obtener distribuciones estadísticas empíricas de medición consecutivas a partir de valores de la variable de proceso medidos en los intervalos de tiempo δt solapantes.

55 Junto con las Fig. 6-8, los valores medios y las distribuciones se han descrito de manera que son valores medios y distribuciones de los valores de la variable de proceso $x(t)$ directamente. Sin embargo, puede ser ventajoso calcular los valores medios y las distribuciones a partir de una función $f(x(t))$ de los valores de la variable de proceso. Esta función $f(x)$ puede ser $f(x) = X^2$ o la resta de una constante u otra función, preferiblemente aritmética. Por supuesto, durante una fase de medición tiene que aplicarse la misma función que durante una fase de formación.

60 Las Fig. 9-12 implican una transformada de valores de la variable de proceso o una función de éstos. En particular, en las figuras se ha elegido una transformada de Fourier, en particular una FFT (transformada rápida de Fourier), pero también son posibles otras transformadas, tales como transformadas wavelet.

65 La Fig. 9 muestra un diagrama de bloques de etapas que pueden realizarse en un medio de procesamiento de formación que implica una FFT. En la etapa 210, se toman valores de la variable de proceso $x(t)$ durante un intervalo de tiempo δt . En la etapa 220 se calcula una FFT a partir de los valores de $x(t)$, que produce un espectro de coeficientes $X_t(k)$ (el índice t indicará que estos coeficientes derivan de valores tomados durante una fase de formación). La etapa 230 es opcional, pero muy ventajosa. En la etapa 230 se selecciona un intervalo de la variable transformada (un

intervalo δk de frecuencias k en el caso de una transformada de Fourier). Esta selección permite limitar el análisis adicional a únicamente las frecuencias k que tienen un interés particular. En el caso de muchas variables de proceso, por ejemplo, en el caso de presiones diferenciales (compárense las Fig. 1-2), los valores de la variable de proceso son bastante constantes, únicamente con pequeñas fluctuaciones. Por consiguiente, una FFT de dicha señal típicamente tiene un valor grande a frecuencias muy bajas (a 0 Hz o frecuencias aproximadas a ésta), que no son de interés y pueden excluirse eligiendo el intervalo δk de acuerdo con esto.

Una posible forma ventajosa de encontrar automáticamente un intervalo adecuado δk es, después de excluir frecuencias muy bajas, calcular una fracción prescriptible (por ejemplo 10%) del mayor coeficiente $X_i(k)$ y encontrar la menor frecuencia k_L y la mayor frecuencia k_U , que tienen un coeficiente ($X_i(k_L)$; $X_i(-k_U)$) al menos tan grande como esa fracción. Entonces, el intervalo deseado δk varía de k_L a k_U .

En la etapa 251 se calcula una distribución estadística empírica de formación a partir del espectro $X_i(k)$. Una posibilidad es sumar hasta todos los valores $X_i(k)$ o sus valores absolutos, posiblemente sólo dentro del intervalo δk de interés, para obtener una potencia de señal Sp , de la que se calcula la distribución estadística empírica de formación. Por consiguiente, se obtiene un espectro $X_i(k)$ de resultados en un valor Sp . También es posible realizar cálculos adicionales u otros cálculos con los coeficientes $X_i(k)$ de interés para obtener un valor de potencia de señal Sp . Las siguientes fórmulas (en particular las ecuaciones (2) y (3)) indican posibles cálculos:

$$X(k) = \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{-j \frac{2\pi k t}{N}} \quad (1)$$

$$P(k) = \begin{cases} 2|X(k)|^2 & 1 \leq k \leq \frac{N}{2} - 1 \\ |X(k)|^2 & k = 1, \frac{N}{2} \end{cases} \quad (2)$$

$$Sp(k_1, k_2) = \sum_{k=k_1}^{k_2} P(k) \quad (3)$$

Como se ha descrito anteriormente, $x(t)$ es un valor de la variable de proceso tomado a un tiempo t , k es una frecuencia, $X(k)$ denota un coeficiente del espectro y Sp es un valor de potencia de la señal. Además, e indica la base del logaritmo natural, j indica la raíz cuadrada de -1 y N es el número de valores de la variable de proceso medidos dentro del intervalo δt . $P(k)$ es un valor intermedio para calcular la potencia de señal. $Sp(k_1, k_2)$ es el valor de la potencia de señal obtenido a partir un intervalo de frecuencias de k_1 a k_2 . k_1 y k_2 corresponden a las frecuencias límite inferior y superior k_L y k_U descritas anteriormente. La ecuación (1) es la fórmula para una transformada de Fourier discreta.

Más generalmente, puede elegirse un número (≥ 2) de intervalos δk que comprenden frecuencias de interés, de forma que la potencia de la señal Sp se obtenga a partir de las frecuencias que están localizadas en uno de esos intervalos.

En la etapa opcional 271, una función de distribución analítica de formación se ajusta a la distribución estadística empírica de formación obtenida de esta manera de la etapa 251. Esto es análogo a lo que ocurre en la etapa 270 (Fig. 6). En la etapa opcional 291 pueden obtenerse valores límite inferior y superior $L_{t,c}$, $U_{t,c}$ con alta precisión a partir de la función de distribución analítica de formación, de forma análoga a la etapa 290 (Fig. 6). Opcionalmente, los valores límite $L_{t,c}$, $U_{t,c}$, pueden obtenerse directamente a partir de la distribución estadística empírica de formación (220 ó 230) sin ajuste. Por consiguiente, como datos estadísticos de formación pueden servir uno o más del grupo de distribución estadística empírica de formación, función de distribución analítica de formación y valores límite $L_{t,c}$, $U_{t,c}$. El valor medio de la distribución estadística empírica de formación o de la función de distribución analítica de formación y/o la varianza (o desviación típica) de éstas también pueden contribuir a los datos estadísticos de formación que, en una fase de medición, se comparan con datos estadísticos de medición.

ES 2 331 576 T3

El diagrama de bloques de la Fig. 10 muestra etapas que pueden realizarse en un medio de procesamiento de mediciones 300 y un medio de comparación 400. En esta realización, que puede usarse junto con la fase de formación representada en la Fig. 9, en primer lugar se registran valores de la variable de proceso $x(t)$ durante una ventana de tiempo δt (etapa 310). Esta ventana de tiempo δt es tan grande como la ventana de tiempo usada durante la fase de formación (Fig. 9, etapa 210). Después, en la etapa 320 se calcula una transformada de Fourier a partir de los valores de $x(t)$, produciéndose un espectro de coeficientes $X_m(k)$ (el índice m indicará que estos coeficientes se obtienen a partir de los valores tomados durante una fase de medición). Entonces, en la etapa 330 el espectro $X_m(k)$ se reduce al intervalo δk (o intervalos), conocidos a partir de la formación (Fig. 9, etapa 230), si se hace así en la fase de formación.

En la etapa 391 se calculan valores de potencia de señal de la manera en la que se calcularon durante la formación (Fig. 9, etapa 251) y a partir de los valores S_p , se calcula un valor medio M_c (de manera aproximadamente análoga a la etapa 390 en la Fig. 7). En el medio de comparación 400, el valor medio M_c puede, en la etapa 421, compararse con los valores límite obtenidos durante la formación (Fig. 9, etapa 291). Si M_c está dentro del intervalo proporcionado por $L_{t,c}$, $U_{t,c}$, es de esperar que la condición del proceso esté en orden. En caso contrario, la salida de diagnóstico indicará un “fallo”.

Algunos medios de comparación 400 más avanzados pueden recibir a partir del medio de procesamiento de mediciones 300 una distribución estadística empírica de medición (de la etapa 320 o mejor de la etapa 330) y compararla con la función de distribución analítica de formación (obtenida en la etapa 271, Fig. 9) o con la propia distribución estadística empírica de formación (obtenida en la etapa 220 o mejor 230 en la Fig. 9) (de forma análoga la Fig. 8, etapa 450). Preferiblemente, esta comparación es un ensayo estadístico, tal como el ensayo χ^2 . De acuerdo con el resultado de la comparación, se diagnosticará un fallo o ausencia de fallo (de forma análoga la Fig. 8, etapa 480).

Efectivamente, también es posible ajustar una función de distribución analítica a una distribución obtenida a partir de datos obtenidos durante una fase de medición y comparar esta función analítica con una función de distribución analítica de formación (o incluso la distribución estadística empírica de formación). Esto se aplica a fases de formación y medición que implican una transformada así como a las que no implican una transformada.

En un medio de comparación 400 avanzado y preferido (no ilustrado), preferiblemente en primer lugar se compara un valor medio con cada valor límite encontrado durante la formación y (después) se compara una distribución obtenida por medición con una distribución obtenida por formación (o función de distribución). Si cualquiera de estas comparaciones indica una condición de fallo en el proceso, la salida de diagnóstico indica “fallo”. Este medio de comparación puede emplearse en caso de distribuciones (o funciones de distribución) obtenidas con o sin una transformada.

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de etapas que pueden realizarse en un medio de procesamiento de mediciones avanzado, que incluye una transformada (de Fourier). Después de las etapas 310 y 320 (compárese con la Fig. 10), se eligen una pluralidad (en este caso tres) de bandas de frecuencia δk_1 , δk_2 , δk_3 en la etapa 330, y dichas bandas después se analizan por separado. Desde luego, una fase de formación correspondiente debe haber hecho la misma separación de bandas de frecuencia. Para cada banda de frecuencias δk_1 , δk_2 , δk_3 se realiza un procesamiento separado. A partir de una o más de las bandas puede calcularse un valor medio y después compararse con valores límite obtenidos a partir de la fase de formación. También es posible obtener una distribución estadística empírica de medición de valores de potencia espectral a partir de una o más de las bandas de frecuencia, como se muestra en la Fig. 11, etapa 351 para las tres bandas. Cada una de estas distribuciones estadísticas empíricas de medición puede compararse, por ejemplo, con una distribución obtenida a partir de la formación correspondiente (o función de distribución ajustada). Puede obtenerse una salida que indica “fallo” si cualquiera de las comparaciones de las bandas es negativa o si un número prescriptible de ellas es negativo.

La división en bandas analizadas individualmente puede extenderse incluso hasta tal profundidad que se analice por separado el espectro entero (cada coeficiente obtenido a partir de la transformada) o que se analicen por separado ciertas frecuencias individuales.

La Fig. 12 es una ilustración de datos que se toman para crear valores “medios” móviles durante una fase de medición, que incluye una transformada de Fourier. De forma similar a los comentarios proporcionados anteriormente en relación con la Fig. 7 (y 8), es ventajoso usar valores móviles (el término “medio” no siempre se aplica aquí correctamente) también junto con los datos transformados. Como se muestra en la Fig. 12, a partir de los datos tomados dentro de un intervalo de tiempo δt se obtiene una serie de valores de variable de proceso y , y por consiguiente, un espectro $X_m(k)$ que produce un valor de potencia de señal S_p (o varios valores S_p analizados por separado). A partir de un número n (típicamente de 50 a 200) de estos espectros o valores de potencia de señal S_p , se obtiene una distribución estadística empírica de medición. Por consiguiente, para una distribución estadística empírica de medición tienen que adquirirse datos durante un intervalo de tiempo de una longitud $\delta T = n \times \delta t$. Para tener “valores móviles”, el siguiente intervalo $\delta T'$ solapará con el primer intervalo (δT), preferiblemente con un desplazamiento de $1 \times \delta t$. De forma análoga, esto también se hace cuando se obtienen valores medios en lugar de distribuciones estadísticas empíricas de medición.

En los casos descritos anteriormente en los que se calcula un valor medio, como alternativa o además es posible calcular una varianza u otra magnitud estadística y continuar con ésta en los medios de comparación.

ES 2 331 576 T3

Una ventaja de la comparación de datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación es que puede elegirse un nivel de confianza prescriptible para la salida de diagnóstico y/o un nivel (K , K' , $1/\text{Chi}^2$...) en relación con el nivel de confianza puede ser parte de la salida de diagnóstico y por lo tanto indicar a un usuario lo fiable que es la indicación de fallo o ausencia de fallo.

5

Lista de símbolos de referencia

	1	entorno de control de proceso
10	2	medio de proceso, fluido de proceso
	3	tubo
	5	sistema de control de proceso
15	10	dispositivo de diagnóstico
	15	microprocesador
20	20	transmisor de presión diferencial
	21	línea de impulso
	22	membrana de proceso
25	23	brazo de transmisión de presión, circuito de aceite
	24	medio de detección, aceite
30	25	medio de detección
	26	elemento de detección, sistema de detección
	27	convertidor A/D
35	50	bomba
	51	control de bomba
40	60	válvula
	61	control de válvula
	100	medio de recepción; recepción del valor de la variable de proceso
45	200	medio de procesamiento de formación; fase de formación; modo de formación
	210	registro de valores de la variable de proceso
50	220	transformada, transformada de Fourier, FFT
	230	cálculo de intervalo en espacio de transformada, cálculo de intervalo de frecuencias
55	250, 251	cálculo de datos estadísticos de formación; cálculo de distribución estadística empírica de formación, distribución estadística empírica de formación
	270, 271	ajuste de función de distribución analítica de formación a distribución estadística empírica de formación; función de distribución analítica de formación
60	290, 291	cálculo de datos estadísticos de formación; cálculo de valores límite
	300	medio de procesamiento de mediciones; fase de medición; modo de medición
	310	registro de valores de la variable de proceso
65	320	transformada, transformada de Fourier, FFT

ES 2 331 576 T3

330	cálculo de distribución estadística empírica de medición limitada a un intervalo (en espacio de transformada)
5	350, 351 cálculo de datos estadísticos de medición; cálculo de distribución estadística empírica de medición; distribución estadística empírica de medición
	390 cálculo de datos estadísticos de medición; cálculo de valor medio M_p
10	391 cálculo de datos estadísticos de medición; cálculo de valor medio M_c
	400 medio de comparación; comparación de datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación
15	420 comparación de valor medio M_p con datos estadísticos de formación
	421 comparación de valor medio M_c con datos estadísticos de formación
20	450 ensayo estadístico, ensayo de consistencia de distribución estadística empírica de medición con función de distribución analítica de formación
	480 comparación de nivel de confianza con nivel prescrito
	500 salida de diagnóstico, salida de condición, medio de salida, visualización
25	$\delta k, \delta k_1, \delta k_2, \delta k_3$ intervalo de espacio de transformada, intervalo de frecuencias
	δt duración de registro de una serie de valores de la variable de proceso, ventana de tiempo, duración
30	K, K' nivel prescriptible
	k variable transformada, frecuencia
35	k_L, k_U, k_1, k_2 valores límite en espacio de transformada, límites de frecuencia
	$L_{t,p}, L_{t,c}$ valor límite inferior
40	M_c valor medio de coeficientes de transformada, valor medio de una función de coeficiente de transformada
	M_p valor medio de valores de la variable de proceso, valor medio de una función de valores de la variable de proceso
45	$S_p, S_{p1}, S_{p2}, S_{p3}$ señal, función de valores de la variable de proceso transformada, potencia de señal
	t tiempo
	$U_{t,p}, U_{t,c}$ valor límite superior
50	W distribución estadística, función de distribución
	$X(k), X_m(k), X_t(k)$ transformada, transformada discreta, transformada de Fourier discreta, coeficiente
55	$x(t)$ valor de la variable de proceso (tomado a diversos tiempos).
60	
65	

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de diagnóstico (10) que comprende

- un medio de recepción (100) para recibir valores de la variable de proceso $x(t)$ de una variable de proceso de un medio de proceso (2) de un proceso,
- un medio de procesamiento de mediciones (300) para extraer y registrar datos estadísticos de medición a partir de dichos valores de la variable de proceso, que se miden durante una fase de medición (300),
- un medio de procesamiento de formación (200) para extraer y registrar datos estadísticos de formación a partir de dichos valores de la variable de proceso que se miden durante una fase de formación (200), para calcular una distribución estadística empírica de formación (250; 251) con lo que la distribución (250; 251) es una distribución de una función de valores de la variable de proceso $x(t)$ que se miden durante una fase de formación (200) y para calcular una función de distribución analítica de formación (270; 271) que se aproxima a la distribución estadística empírica de formación (250) y que comprende
- un medio de comparación (400) para comparar los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación registrados antes que los datos estadísticos de medición,

caracterizado por que los datos estadísticos de medición comprenden una distribución estadística empírica de medición (350), que es una distribución de una función de dichos valores de la variable de proceso $x(t)$, que se miden durante una fase de medición (300), y por que los datos estadísticos de formación comprenden la función de distribución analítica de formación (270) y por que el medio de comparación (400) proporciona una indicación de fallo en caso de que el nivel de confianza $(1/\text{Chi}^2)$ obtenido a partir de un ensayo estadístico (450) de la consistencia de la distribución estadística empírica de medición (350) con la función de distribución analítica de formación (250) esté por debajo de un valor umbral prescriptible (K').

2. Un dispositivo de diagnóstico (10) que comprende

- un medio de recepción (100) para recibir valores de la variable de proceso $x(t)$ de una variable de proceso de un medio de proceso (2) de un proceso,
- un medio de procesamiento de mediciones (300) para extraer y registrar datos estadísticos de medición a partir de dichos valores de la variable de proceso que se miden durante una fase de medición (300) y para calcular una transformada de los valores de la variable de proceso $x(t)$, que se miden durante una fase de medición (300), en coeficientes $X_m(k)$ de una serie de funciones ortogonales, y que comprende
- un medio de procesamiento de formación (200) para extraer y registrar datos estadísticos de formación a partir de dichos valores de la variable de proceso que se miden durante una fase de formación (200), para calcular una distribución estadística empírica de formación (250; 251), para calcular una transformada de valores de la variable de proceso $x(t)$ que se miden durante una fase de medición (300) en coeficientes $X_m(k)$ de una serie de funciones ortogonales, con lo que la distribución estadística empírica de formación (250) es una distribución de una función de los coeficientes $X_m(k)$ y para calcular una función de distribución analítica de formación (270; 271) que se aproxima a la distribución estadística empírica de formación (250), y que comprende:
- un medio de comparación (400) para comparar los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación registrados antes que los datos estadísticos de medición,

caracterizado por que los datos estadísticos de medición comprenden una distribución estadística empírica de medición (351), que es una distribución de la función de los coeficientes $X_m(k)$, y por que los datos estadísticos de formación comprenden la función de distribución analítica de formación (271), y por que el medio de comparación (400) proporciona una indicación de fallo en caso de que el nivel de confianza $(1/\text{Chi}^2)$ de un ensayo estadístico de la consistencia de la distribución estadística empírica de medición (351) con la función de distribución analítica de formación (271) esté por debajo de un valor umbral prescriptible.

3. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** por que comprende un medio de detección (25) para medir la variable de proceso y para generar los valores de la variable de proceso $x(t)$.

4. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por que el medio de comparación (400) tiene una salida de condición (500) relacionada con una condición del proceso, donde la condición del proceso es diferente de una medida para la variable del proceso.

5. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la salida de condición (500) está relacionada con la condición del medio de detección (25).

ES 2 331 576 T3

6. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que los datos estadísticos de medición y los datos estadísticos de formación se relacionan con interferencias en el medio de proceso (2).

5 7. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado** por que la transformada es una del grupo de transformada de Fourier y transformada wavelet.

10 8. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado** por que la función de distribución analítica de formación (270; 271) es una función de distribución Gamma.

10 9. El dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** por que el ensayo estadístico es uno del grupo del ensayo Chi² y del ensayo de Kolmogorov-Smirnov.

15 10. Un sistema de control de proceso (1) que comprende un dispositivo de diagnóstico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

11. Un método de diagnóstico que comprende las etapas de:

20 - obtener valores de una variable de proceso (210; 310), que se obtienen por medición de una variable de proceso de un medio de proceso (2) de un proceso,

- extraer y registrar datos estadísticos de medición a partir de dichos valores de variable de proceso (x(t)), que se miden durante una fase de medición (300),

25 - extraer y registrar datos estadísticos de formación a partir de dichos valores de variable del proceso (x(t)), que se miden durante una fase de formación (200),

30 - calcular una distribución estadística empírica de formación (250; 251) con lo que la distribución (250; 251) es una distribución de una función de valores de la variable de proceso (x(t)) que se miden durante una fase de formación (200),

- calcular una función de distribución analítica de formación (270; 271) que se aproxima a la distribución estadística empírica de formación (250), y

35 - comparar (400) los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación registrados antes que los datos estadísticos de medición,

40 **caracterizado** por que las etapas de los datos estadísticos de medición comprenden una distribución estadística empírica de medición (350), que es una distribución de una función de dichos valores de la variable de proceso (x(t)) que se miden durante una fase de medición (300), los datos estadísticos de formación comprenden la función de distribución analítica de formación (270), y el medio de comparación (400) proporciona una indicación de fallo en caso de que el nivel de confianza (1/Chi²) obtenido a partir de un ensayo estadístico (450) de la consistencia de la distribución estadística empírica de medición (350) con la función de distribución analítica de formación (250) esté por debajo de un valor umbral prescriptible (K').

45 12. Un método de diagnóstico que comprende las etapas de

50 - obtener valores de la variable de proceso (210; 310), que se obtienen por medición de una variable de proceso de un medio de proceso (2) de un proceso,

- extraer y registrar datos estadísticos de medición a partir de dichos valores de la variable de proceso (x(t)), que se miden durante una fase de medición (300),

55 - calcular una transformada de valores de la variable de proceso (x(t)) que se miden durante una fase de medición (300), en coeficientes $X_m(k)$ de una serie de funciones ortogonales,

- extraer y registrar datos estadísticos de formación a partir de dichos valores de variable del proceso (x(t)), que se miden durante una fase de formación (200),

60 - calcular una distribución estadística empírica de formación (250; 251) calculando una transformada de valores de la variable de proceso (x(t)) que se miden durante una fase de medición (300), en coeficientes $X_m(k)$ de una serie de funciones ortogonales, con lo que la distribución estadística empírica de formación (250) es una distribución de la función de los coeficientes $X_i(k)$,

65 - calcular una función de distribución analítica de formación (270; 271) que se aproxima a la distribución estadística empírica de formación (250), y

ES 2 331 576 T3

- comparar (400) los datos estadísticos de medición con datos estadísticos de formación registrados antes que los datos estadísticos de medición,

5 **caracterizado** por que las etapas de los datos estadísticos de medición comprenden una distribución estadística empírica de medición (351), que es una distribución de la función de los coeficientes $X_m(k)$, los datos estadísticos de formación comprenden la función de distribución analítica de formación (271), y el medio de comparación (400) produce una indicación de fallo en caso de que el nivel de confianza ($1/Chi^2$) de un ensayo estadístico de la consistencia de la distribución estadística empírica de medición (351) con la función de distribución analítica de formación (271) esté por debajo de un valor umbral prescriptible.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

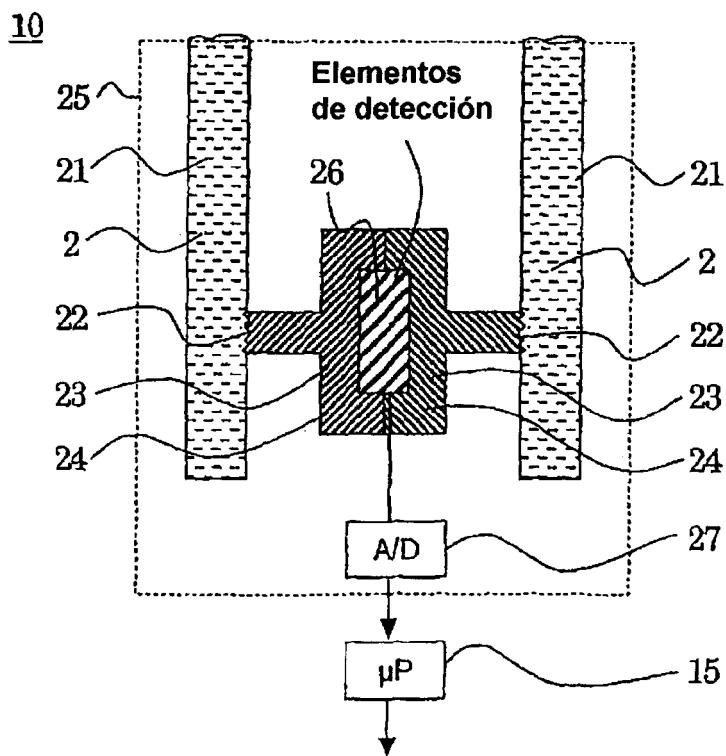
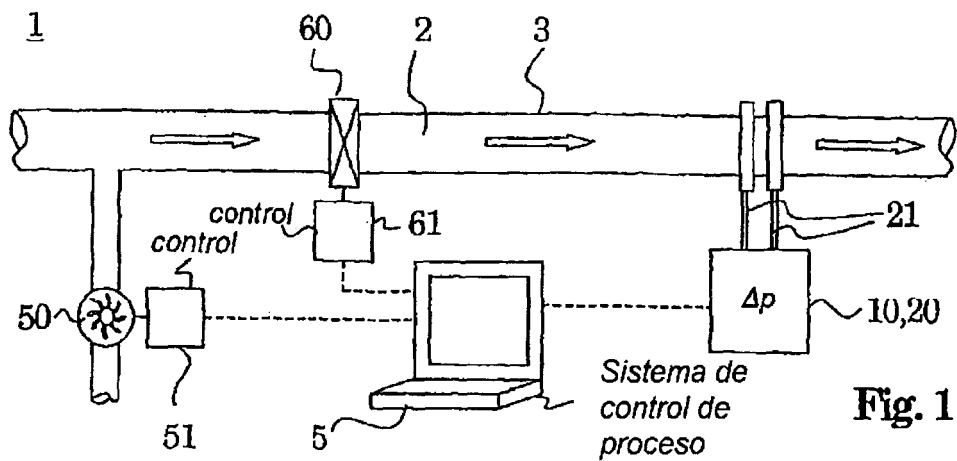


Fig. 2

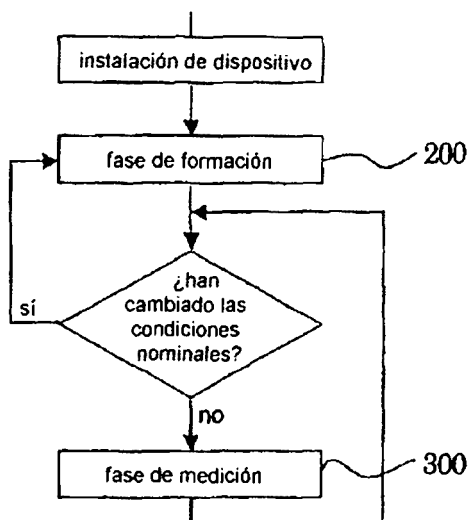


Fig. 3

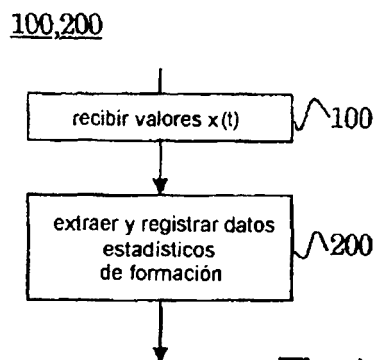


Fig. 4

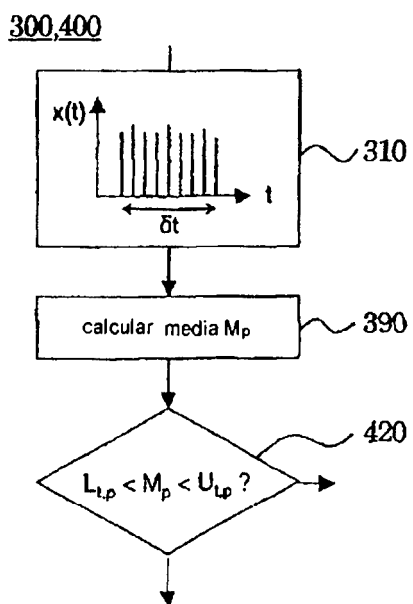


Fig. 7

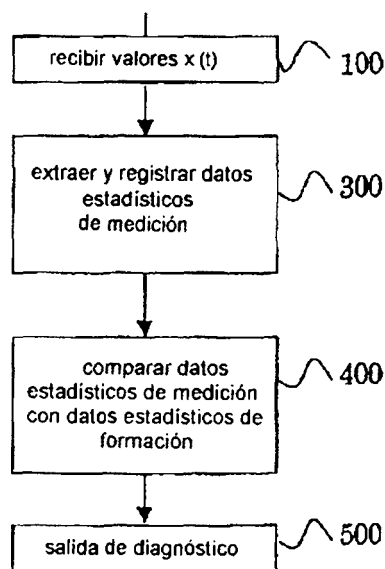
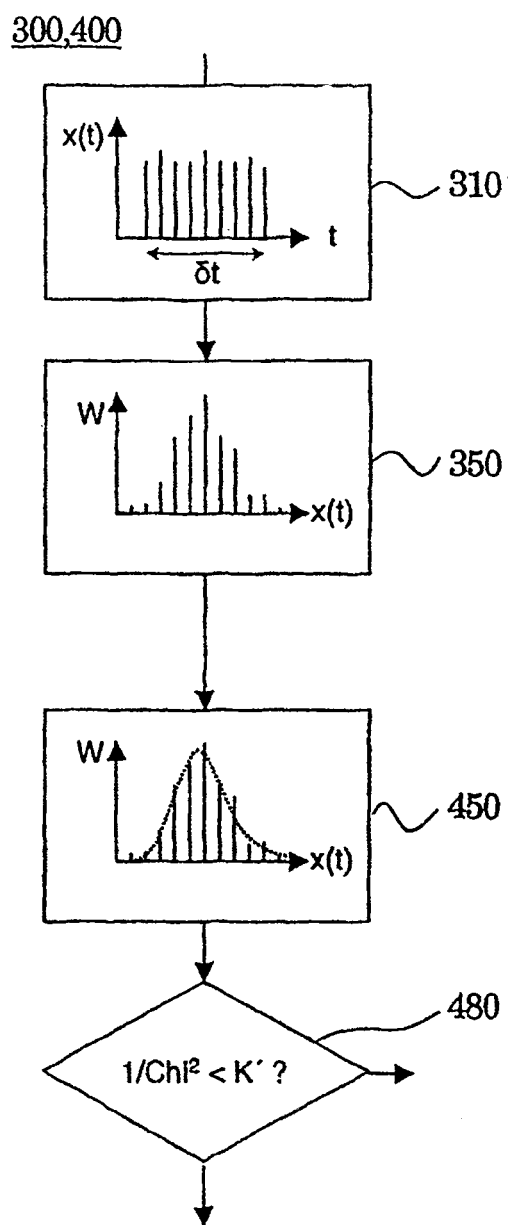
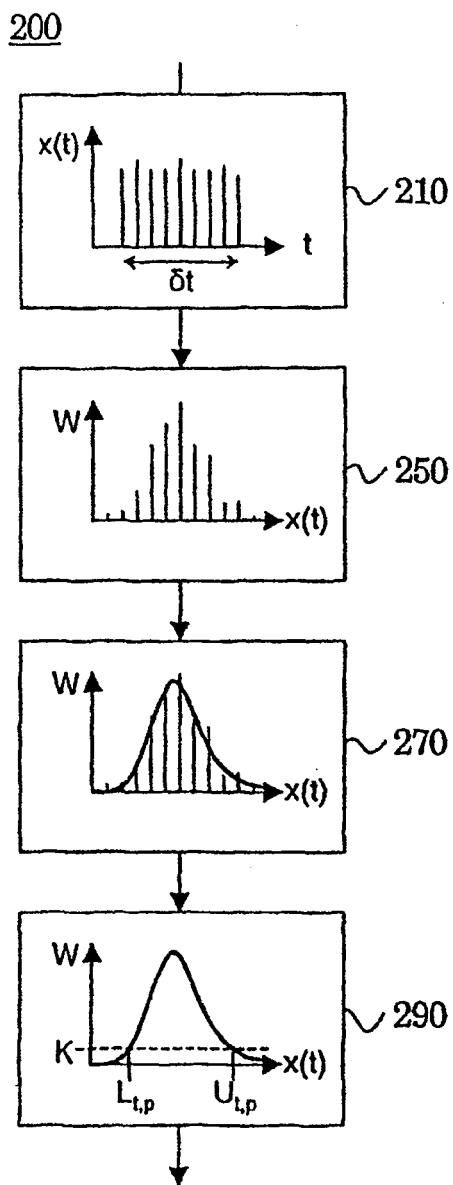


Fig. 5



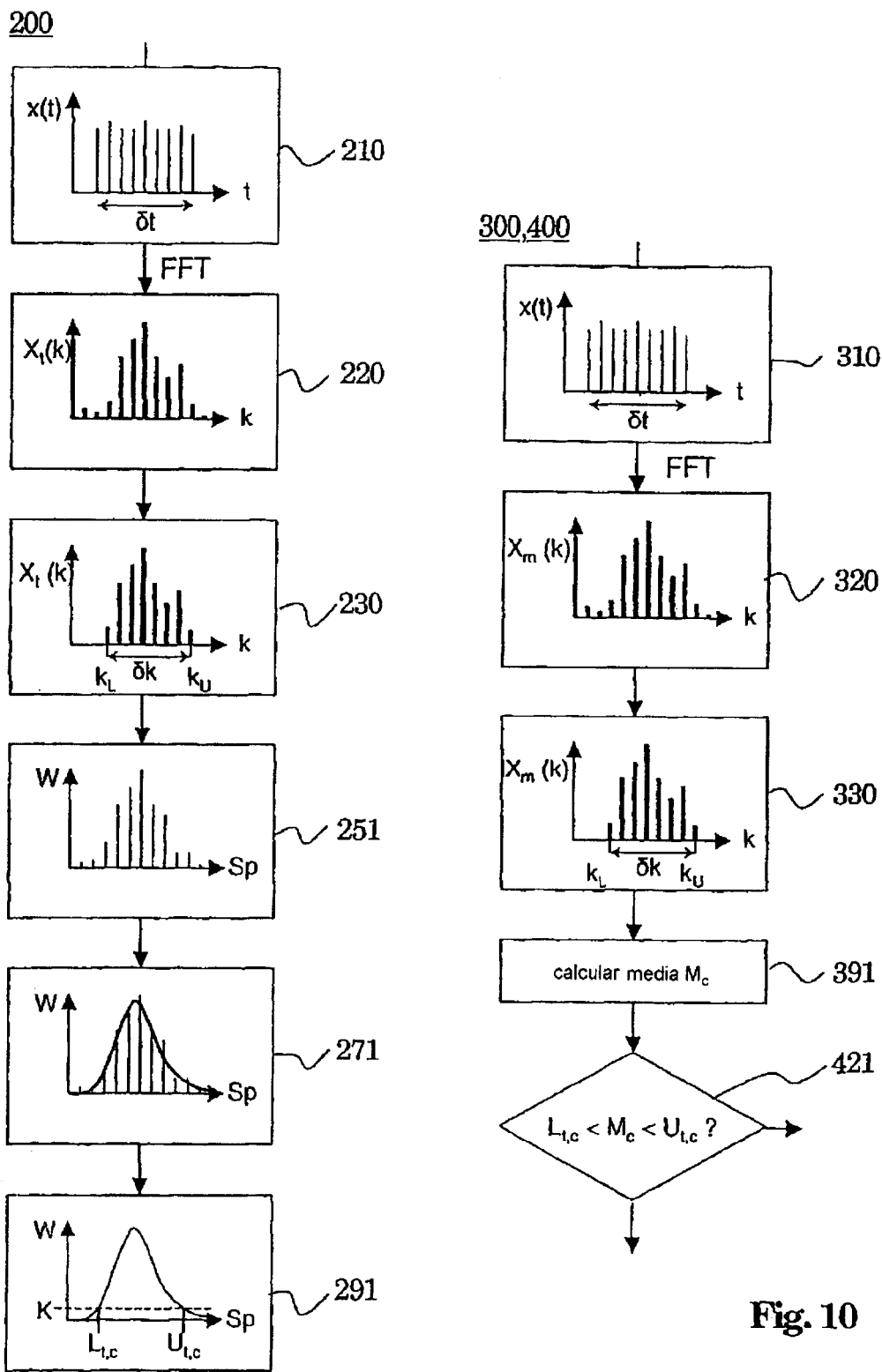


Fig. 9

Fig. 10

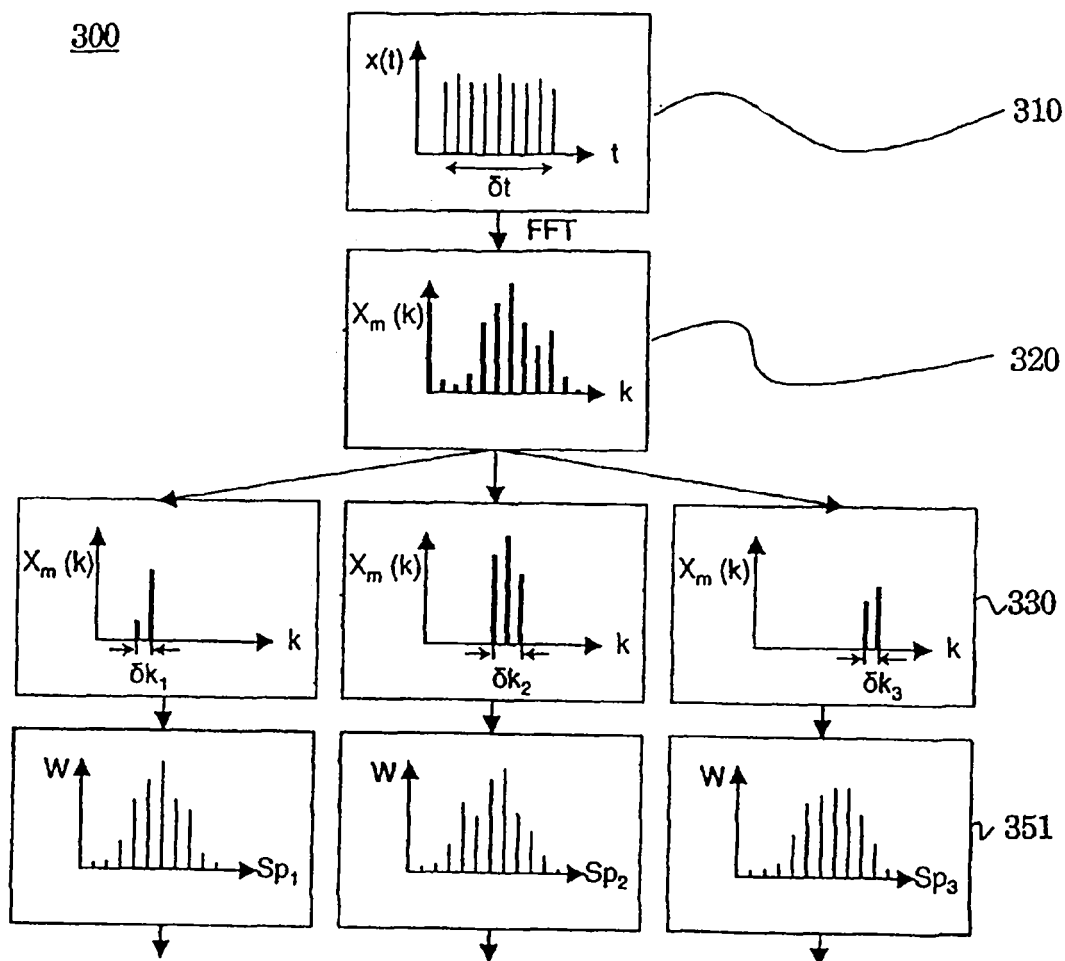


Fig. 11

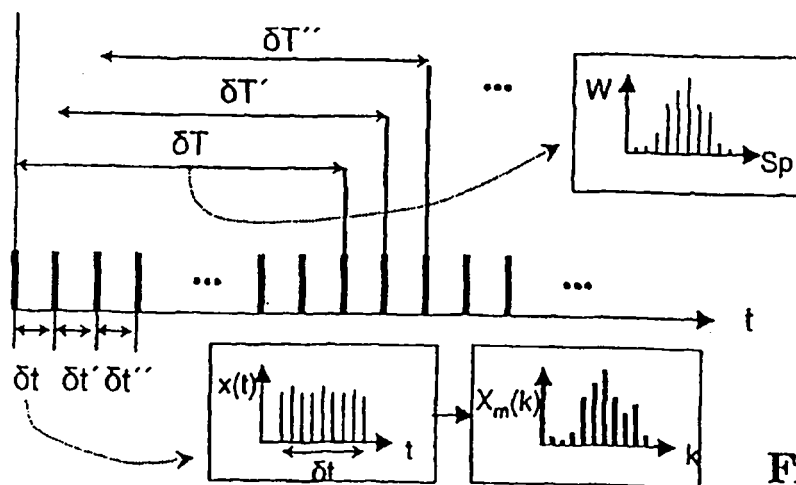


Fig. 12