

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 424**

51 Int. Cl.:

G01N 27/90 (2006.01)

G01N 15/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2010 E 10163470 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.07.2018 EP 2253953**

64 Título: **Dispositivo y método para mediciones inductivas-autocomprobación**

30 Prioridad:

20.05.2009 DE 102009022136

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

14.11.2018

73 Titular/es:

**PRÜFTECHNIK DIETER BUSCH AG (100.0%)
Oskar-Messter-Strasse 19-21
85737 Ismaning, DE**

72 Inventor/es:

HOELZL, ROLAND

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 689 424 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 y método para mediciones inductivas – autocomprobación

5 Esta invención se refiere a un dispositivo y a un método para la detección no destructiva y sin contacto de fallas en una probeta. En particular, la presente invención se refiere a la detección de fallas utilizando medidas de una corriente en torbellino o fuga de flujo magnético. Además, la invención se refiere a un dispositivo y a un método para detectar partículas eléctricamente conductoras en un líquido que fluye en un segmento de tubería usando las corrientes de Foucault inducidas en las partículas que se detectan.

10 La detección convencional no destructiva y sin contacto de fallas en una probeta de un producto metálico semiacabado se realiza induciendo y midiendo las corrientes en torbellino en la probeta. Al hacerlo, la probeta se expone a campos electromagnéticos alternos periódicos a través de una bobina transmisora energizada sinusoidalmente. Las corrientes de Foucault resultantes inducidas en la probeta inducen una señal eléctrica periódica en una disposición de bobina que se usa como sonda. Esta señal eléctrica periódica tiene una oscilación portadora según la frecuencia portadora del transmisor cuya amplitud y/o fase se modula por una falla en la probeta cuando una falla se desplaza hacia la región sensible de la sonda. Convencionalmente, cuando se escanea la probeta, la probeta se mueve linealmente con respecto a la sonda; sin embargo, también se conocen disposiciones con una sonda rotativa. Por ejemplo, un dispositivo de medición de corriente en torbellino con una probeta avanzada linealmente se describe en la patente de los Estados Unidos No. 5,175,498.

25 De manera similar, las partículas eléctricamente conductoras en un líquido, que fluye a través de las bobinas, causan pérdidas por corrientes en torbellino. Estas corrientes en torbellino se pueden determinar midiendo el cambio de impedancia de las bobinas. De este modo, las partículas eléctricamente conductoras en un líquido que fluye en un tubo pueden detectarse por medio de una disposición de bobina inductiva. Esto es especialmente ventajoso para la detección de la concentración de partículas metálicas en el circuito de lubricante de una máquina con el fin de extraer conclusiones sobre el estado de la máquina, tales como las mediciones del desgaste de la máquina.

30 Otro método de medición convencional para la detección de fallas no destructivas y sin contacto en una probeta es la medición de fugas de flujo magnético (o medición de campo magnético disperso), mediante una bobina de inducción con un yugo magnético que magnetiza la probeta resultando en una fuga de flujo magnético producido por la probeta. El flujo magnético se mide por medio de un sensor adecuado. Las fallas en la probeta se detectan en función de sus efectos en la fuga de flujo magnético. Un ejemplo de esta medición de fuga de flujo se puede encontrar en la patente de los Estados Unidos No. 4,445,088.

35 En los dispositivos de medición de corriente en torbellino que contienen sondas que rotan alrededor de la periferia de la probeta, se mide la distancia entre la cabeza de la sonda y la probeta para corregir la medida con respecto a la distancia porque la distancia fluctúa durante el curso de una revolución. La medición de la distancia se realiza debido a descentramiento o asimetría de la sección transversal de la probeta que se produce durante una revolución. Un ejemplo de esta disposición puede encontrarse en la solicitud de patente alemana DE 40 03 330 A1.

45 La publicación de solicitud de patente internacional WO 2006/007826 A1 divulga un dispositivo de medición de corriente en torbellino con un extremo frontal digital, de modo que la etapa del convertidor A/D se activa con una n -ésima fracción integral de la frecuencia de la oscilación portadora, donde n se selecciona dependiendo en la frecuencia de falla, es decir, el cociente de la velocidad relativa entre la probeta y la sonda y el ancho efectivo de la sonda.

50 El documento U.S. 4,209,744 describe un dispositivo de medición de corriente en torbellino que tiene un medio de prueba que simula señales que son típicas de fallas en una probeta para realizar una verificación fundamental de la electrónica. Sin embargo, solo se pueden simular una única amplitud y una frecuencia de falla primaria definida. Incluso si la señal de falla simulada se proporciona con variaciones, no se pueden probar todos los componentes electrónicos. Además, dicha señal de falla simulada no puede rastrearse hasta un elemento de referencia certificado sin desmontar todos los componentes electrónicos y enviarlos a un laboratorio.

55 La publicación de solicitud de patente internacional WO No. 01/22075 A2 describe un dispositivo de medición de la corriente en torbellino en el marco de la autocalibración del sistema. La intensidad de la señal proviene de un segmento de una probeta que no contiene una falla.

60 La solicitud de patente GB No. 2 192 064 describe un dispositivo de prueba inductivo en el que el dispositivo se desafina para simular un fallo mediante un medio de autocomprobación y conectando un LED.

65 Un objeto principal de esta invención es diseñar un dispositivo y método para la detección no destructiva y sin contacto, especialmente mediante medición de corrientes en torbellino, o medición de fugas de flujo, de fallas en una probeta o mediante la detección de partículas eléctricamente conductoras en un líquido que fluye en un segmento de tubería, para garantizar que la medición sea lo más confiable posible.

El objeto anterior de la invención se consigue en un dispositivo como se describe a continuación.

En el enfoque de acuerdo con la invención, la unidad de autocomprobación realiza una verificación cuantitativa sistemática de las funciones de procesamiento de señal de la unidad de procesamiento de señal, la disposición de la bobina de transmisión y la disposición de la bobina receptora, y previa solicitud para llevar a cabo la calibración de la unidad de procesamiento de señal con un estándar de calibración que reemplaza la disposición de la bobina transmisora y/o la disposición de la bobina receptora. Esto es ventajoso porque permite una verificación exhaustiva de las funciones de la interfaz, especialmente de los filtros y amplificadores, así como de la sonda, y por lo tanto, se logra una alta fiabilidad de los resultados de medición. En particular, la calibración del dispositivo también se habilita fácilmente. Esto se aplica especialmente a la calibración con respecto al preamplificador ajustable.

En conjunto, se logra una mayor confiabilidad de los resultados de la prueba ya que las fallas en los componentes electrónicos individuales del dispositivo se pueden detectar de manera confiable. En particular, se logra una alta fiabilidad en comparación con la calibración conocida en la técnica anterior en una falla de muestra simulada ya que esta última en la práctica generalmente no emerge en la forma precisa de la falla simulada, y por lo tanto la significancia de la calibración en dicha falla de muestra es relativamente baja. Además, los componentes individuales no pueden ser verificados cuantitativamente por separado.

En lugar de usar la invención solo en la detección no destructiva y sin contacto de fallas en una probeta móvil, es decir, en un dispositivo de prueba de corriente en torbellino o un dispositivo de medición de flujo extraviada, como se describe aquí, la invención también se puede usar en la detección de partículas eléctricamente conductoras en un líquido que fluye en un segmento de tubería con una velocidad, como un contador de partículas.

La unidad de autocomprobación está hecha para conmutar la unidad de procesamiento de señal para verificar las funciones de procesamiento de señal de manera que la señal para la disposición de la bobina transmisora se alimenta directamente como una señal de entrada periódica a la unidad de procesamiento de señal, variando sistemáticamente la señal de entrada. La unidad de procesamiento de señal tiene amplificadores y filtros de frecuencia, la unidad de autocomprobación se comprueba mediante la variación de la frecuencia y la amplitud de la señal para la disposición de la bobina transmisora, ya sea la ganancia medida de los amplificadores y las frecuencias y la inclinación de las esquinas medidas de los filtros de frecuencia están dentro de la especificación dada, y se emite una señal de falla correspondiente si la especificación no se cumple.

Preferiblemente, el controlador para la bobina transmisora tiene un sensor de corriente. La unidad de autocomprobación monitorea y determina la impedancia de la bobina transmisora a partir de la corriente de la bobina transmisora y el voltaje de la bobina transmisora. Preferiblemente, la bobina receptora está hecha en una disposición de bobina diferente. La unidad de autocomprobación está determinando y controlando el voltaje de compensación de la bobina receptora. Ventajosamente, la unidad de autocomprobación está hecha para almacenar la corriente de la bobina transmisora y el voltaje de compensación de la bobina receptora en función del tiempo para permitir la observación de los cambios a largo plazo de la bobina transmisora y la bobina receptora.

El dispositivo se puede hacer con varios canales, la disposición de la bobina transmisora y la disposición de la bobina receptora tienen varias bobinas que están asignadas a una determinada frecuencia de medición.

Preferiblemente, el estándar de calibración es al menos un elemento RC, y por medio de una resistencia de medición calibrada del elemento RC, el convertidor A/D u otros convertidores de la unidad de procesamiento de señales se pueden verificar con respecto a su precisión, y la frecuencia de muestreo del procesador de la unidad de procesamiento de señal se puede verificar por medio de la frecuencia de esquina del elemento RC. El estándar de calibración puede ser un divisor de voltaje que ha sido certificado por un laboratorio de pruebas. Por lo tanto, la sensibilidad de todo el sistema se puede verificar con un elemento de referencia calibrado para que todo el sistema pueda verificarse al menos con una configuración típica.

Preferiblemente, el extremo delantero se hace digital, es decir, la señal de la bobina receptora se muestrea por medio de una etapa de convertidor A/D disparable y luego se filtra por medio de filtros de frecuencia para obtener una señal útil desmodulada. La etapa del convertidor A/D es diaparada con la n-ésima fracción integral de la frecuencia de la oscilación portadora de la señal para la disposición de la bobina transmisora, n se elige dependiendo de la frecuencia de falla que surge como el cociente de la velocidad relativa entre la probeta y la disposición de la bobina receptora y el ancho efectivo de la disposición de la bobina receptora, y los filtros de frecuencia se configuran en función de la frecuencia de falla.

Típicamente, la unidad de procesamiento de señal tiene un preamplificador ajustable para la señal de la bobina receptora, y el preamplificador puede verificarse mediante el estándar de calibración realizado cuando un elemento RC se expone a un voltaje sinusoidal fijo cuya amplitud se elige de modo que en el ajuste menos sensible de el preamplificador puede convertirse digitalmente una señal sinusoidal con la precisión deseada por medio de la etapa del convertidor A/D, de modo que a mayores ganancias del preamplificador, la señal sinusoidal sea sobreexcitada. La señal sinusoidal saturada se reconstruye con una aproximación matemática, por ejemplo, mediante la teoría de ajuste, para determinar la amplitud real de la señal.

ES 2 689 424 T3

La figura 1 es un diagrama de bloques de un dispositivo de medición inductivo con una función de autocomprobación y función de calibración de acuerdo con la invención;

5 La figura 2 es un diagrama de bloques de un aspecto de la invención que se usa para detectar fallas en una probeta en movimiento;

La figura 3 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un dispositivo de medición inductivo de acuerdo con un aspecto de la invención que se usa para detectar partículas eléctricamente conductoras en un líquido que fluye;

10 La figura 4 ilustra esquemáticamente una sección longitudinal a través de una tubería a través de la cual fluye un líquido y que está provista de una bobina transmisora y receptora para su uso con el dispositivo de medición como se muestra en la figura 3, y

15 La figura 5 es un diagrama de bloques del cableado de las bobinas de la figura 4.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de un dispositivo de medición inductivo con una función de autocomprobación y función de calibración según un aspecto de la invención. Un procesador 60 de señal se comunica con un elemento 68 de lógica de matriz programable (PAL). El elemento 68 PAL está diseñado para controlar el convertidor A/D y el convertidor D/A. El elemento 68 PAL también suministra un controlador 70 de bobina transmisora que está provisto de un sensor 72 de corriente, y entrega la señal para la disposición de la bobina transmisora (no mostrada en la figura 1) de la sonda 11 (es decir, cabezal de medición). La señal de la bobina receptora de la disposición de bobina receptora (no mostrada en la figura 1) de la sonda 11 se proporciona a un amplificador 74 de bajo ruido que se usa como un preamplificador. La ganancia del amplificador 74 de bajo ruido es controlada o configurada variablemente por el procesador 60 por medio del elemento 68 PAL. La señal amplificada por el amplificador 74 pasa a través de un filtro 78 de resonancia y se suministra al elemento 68 PAL y luego al procesador 60 para el procesamiento o evaluación de la señal después de la digitalización en un convertidor 80 A/D, que puede diseñarse para manejar 18 bits. De esta manera, a partir de la señal de la bobina receptora se produce una señal utilizable que luego es evaluada por una unidad de evaluación. La unidad de evaluación puede implementarse en forma del procesador 60 y/o externamente, por ejemplo, como un ordenador personal (PC) 64.

20 Adicionalmente, el sistema puede tener un sensor 82 de distancia con una bobina transmisora y una bobina receptora (no mostrada) para producir una señal de distancia desde la señal de bobina receptora del sensor 82 de distancia. La señal de distancia constituye una medida de la distancia entre la probeta y la sonda 11. Hay un controlador 84 para la bobina transmisora del sensor 82 de distancia que tiene un sensor 86 de corriente y que es suministrado por el elemento 68 PAL. La señal de la bobina receptora del sensor 82 de distancia se suministra a una unidad 88 que realiza amplificación, desplazamiento y rectificación de la señal de distancia. La unidad 88, como el amplificador 74, está controlada por el elemento 68 PAL. La señal de distancia se suministra al elemento 68 PAL, y luego al procesador 60 para su evaluación mediante un convertidor 90 A/D, que puede diseñarse para manejar 16 bits. Además, puede haber varios sensores 82 de distancia.

30 Los elementos 68, 70, 74, 76, 78, 80 y opcionalmente 60, así como los elementos 84, 86, 88, 90 son parte de la unidad de procesamiento de señal que produce una señal para evaluación por la unidad de evaluación de las señales de la bobina receptora.

35 Una unidad 62 de autocomprobación está implementada en el procesador 60. La unidad 62 de autocomprobación realiza una verificación cuantitativa sistemática de las funciones de procesamiento de señal de la unidad de procesamiento de señal del extremo frontal y la verificación cuantitativa sistemática de la sonda 11 y del sensor 82 de distancia. Además, el procesador 60 realiza la comprobación automáticamente, al inicio del sistema, o a petición de la interfaz de usuario que puede ser PC 64 o una pantalla 65 táctil.

40 Se usa una disposición 66 de conmutación con tres conmutadores 63, 67, 69 para monitorizar la unidad de procesamiento de señal. Los tres conmutadores 63, 67, 69 pueden ser accionados por la unidad 62 de autocomprobación (al hacer esto los conmutadores 63 y 67 se abren y el conmutador 69 se cierra) para alimentar la señal para la bobina transmisora de la sonda 11 como una señal de entrada periódica en la unidad de procesamiento de señal, es decir, en la entrada del amplificador 74 al derivar la bobina transmisora directamente.

45 En la autocomprobación, la unidad 62 de autocomprobación proporciona la señal para la bobina transmisora que varía con respecto a la frecuencia y la amplitud para comprobar si la ganancia medida del amplificador 74 y las frecuencias de esquina medidas y la pendiente del filtro 78 de frecuencia están dentro de las especificaciones requeridas. Una señal de falla correspondiente se envía a la interfaz 64, 65 de usuario si no se cumple la especificación.

50 De acuerdo con aspectos de la invención, el dispositivo puede estar hecho con varios canales. El controlador 70 de bobina transmisora, la sonda 11 y la disposición 66 de conmutador de automonitoreo se proporcionan una vez para cada canal, y un multiplexor 76 está conectado corriente arriba del amplificador 74 (para cada bobina transmisora hay entonces su propia frecuencia).

Se proporciona una disposición 92 de conmutador de autocomprobación entre el controlador 84 y la unidad 88. La disposición 92 de conmutador de autocomprobación tiene tres conmutadores 89, 91, 93 que pueden ser accionados por la unidad 62 de autocomprobación (al hacerlo, los conmutadores 89 y 91 están abiertos y el conmutador 93 está cerrado) para inducir una autocomprobación de la unidad 88, o del convertidor 90 A/D mediante una señal que es emitida por el controlador de la bobina del controlador 84, y que está pasando por alto la bobina transmisora del sensor 82 de distancia. Esta señal se envía directamente a la entrada de la unidad 88, y por medio de la unidad 62 de autocomprobación, la frecuencia y la amplitud de la señal del controlador de la bobina se pueden variar sistemáticamente.

Además de la señal de salida de la unidad 88, la señal de corriente del sensor 72 de corriente y la señal de corriente del sensor 86 de corriente se suministran al multiplexor 94, que está conectado corriente arriba del convertidor 90 A/D. De este modo, la corriente del sensor suministra señales a la unidad 62 de autocomprobación para su evaluación. La impedancia compleja de la bobina transmisora respectiva puede determinarse y monitorizarse por medio de la unidad 62 de autocomprobación de la corriente de la bobina transmisora y el voltaje de la bobina transmisora detectada por los sensores 72 y 86 de corriente. Además, se puede enviar opcionalmente una señal de falla por medio de la interfaz 64 y 65 de usuario. Como se ilustra en la figura 1, los voltajes de la bobina transmisora se miden en los sitios etiquetados 1 y 3 y se suministran al elemento PAL por medio del multiplexor 94 y el convertidor 90 A/D.

Adicionalmente, el voltaje de compensación de la bobina receptora de la sonda 11 puede controlarse por medio de la unidad 62 de autocomprobación (Nota: solo las bobinas de diferencia tienen un voltaje de compensación, que surge en cualquier disposición de bobina diferente ya que dos bobinas nunca son exactamente idénticas).

El voltaje de compensación se puede eliminar de la señal del receptor por medio de un filtro de paso alto. La diferencia de voltaje antes y después del filtro de paso alto produce el voltaje de compensación.

Ventajosamente, la unidad 62 de autocomprobación está hecha de manera que la corriente de la bobina transmisora y el voltaje de compensación de la bobina receptora se almacenan en función del tiempo, permitiendo la observación de cambios a largo plazo de las bobinas del transmisor y las bobinas receptoras. Esta monitorización es especialmente importante cuando el sistema está diseñado como un contador de partículas inductivo porque las bobinas no se pueden desmontar y comprobar fácilmente.

Además, la unidad 62 de autocomprobación está configurada de modo que la calibración de la electrónica de procesamiento de señal se habilita por medio de un estándar 96 de calibración certificado que puede reemplazar la bobina 11. El estándar 96 de calibración está conectado en el lado de entrada al controlador de bobina 70 transmisora y en el lado de salida al multiplexor 76 y al amplificador 74. Cuando el estándar 96 de calibración tiene varios elementos de referencia, tales como, diferentes resistencias, que se conmutan en el curso de la calibración, el estándar 96 de calibración tiene un terminal 98, por ejemplo, un bus I²C, que está conectado al procesador 60 y a la unidad 62 de autocomprobación para llevar a cabo las conmutaciones correspondientes de los elementos de referencia.

Los puntos etiquetados "2" y "4" permiten la medición directa de los voltajes corriente arriba de los canales de entrada del amplificador 74 y de la unidad 88. Por lo tanto, es posible medir directamente la caída de voltaje con el estándar 96 de calibración que por ejemplo se configuró en lugar de la bobina correspondiente.

Es preferible que el estándar de calibración tenga al menos un elemento RC con al menos una resistencia de medición calibrada para verificar la precisión del convertidor A/D de la electrónica de procesamiento de señal. La frecuencia de muestreo del procesador 60 también se puede verificar con el elemento RC usando la frecuencia de esquina del elemento RC que se conoce con precisión. La resistencia de medición del estándar 96 de calibración es un filtro de paso bajo para suprimir la interferencia. Como elemento de referencia, la resistencia de medición del estándar 96 de calibración proporciona un voltaje definido a la entrada del convertidor 80 A/D, de modo que se detectan fluctuaciones no deseadas de la frecuencia de muestreo.

Es preferible que la calibración se realice una vez al año.

El estándar 96 de calibración puede ser una unidad separada independiente del dispositivo de medición y conectada al dispositivo de medición solo durante la calibración. Esta realización de ejemplo es ventajosa porque un laboratorio de calibración certificado puede verificar fácilmente la calibración del estándar de calibración.

Alternativamente, el estándar 96 de calibración se puede hacer como una parte del dispositivo de medición tal como un componente provisto en una placa del dispositivo de medición que está conectado en lugar de la bobina correspondiente a necesidad. Esta realización de ejemplo tiene la ventaja de que no es necesario abrir el dispositivo de medición para la preparación de la calibración. Sin embargo, en este caso, la calibración del estándar de calibración no se puede verificar.

El estándar 96 de calibración es especialmente útil para la calibración del preamplificador 74 ajustable. Cuando el estándar 96 de calibración por razones económicas tiene solo uno o solo unos pocos valores de resistencia de referencia, es posible proceder de la siguiente manera. El elemento RC del estándar 96 de calibración obtiene un voltaje sinusoidal fija desde el controlador 70 de bobina transmisora. El voltaje sinusoidal fija es tan grande que una señal sinusoidal puede convertirse digitalmente con la precisión deseada por medio del convertidor 80 A/D en la posición menos sensible del amplificador 74. Si la ganancia se aumenta por medio del elemento 68 PAL, el seno se corta en algún momento, y el seno truncado se puede reconstruir de nuevo mediante una aproximación matemática, tal como un cálculo teórico de ajuste. Como resultado, se puede medir la amplitud real de la señal. El requisito previo para este método es que la electrónica utilizada no tenga un efecto de retención y la etapa de entrada del convertidor 80 A/D esté protegida contra la destrucción por sobrevoltaje.

Se puede usar la siguiente ecuación del cálculo teórico de ajuste para un seno: $A_0 \cdot n + A_1 \cdot [\text{sen}(x)] + A_2 \cdot [\text{cos}(x)] = [y_i]$ $A_0 \cdot [\text{sen}(x)] + A_1 \cdot [\sin^2(x)] + A_2 \cdot [\text{sen}(x) \cdot \text{cos}(x)] = [y_i \cdot \text{sen}(x)]$ $A_0 \cdot [\text{cos}(x)] + A_1 \cdot [\text{sen}(x) \cdot \text{cos}(x)] + A_2 \cdot \text{cos}^2(x) = [y_i \cdot \text{cos}(x)]$ donde y_i es un valor medido tal que $y(i) = A_0 + A_1 \cdot \text{sen}(x) + A_2 \cdot \text{cos}(x)$ y $x = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$, donde f indica la frecuencia. Los corchetes representan sumatorias sobre la variable de ejecución i de cero a n . Esos valores medidos que están fuera del rango permitido, es decir, los valores "truncados", no se pueden usar aquí. El valor x representa el ángulo actual, que no necesita ser equidistante.

Al calcular la cantidad de A_1 y A_2 , se obtienen la amplitud original $A = \text{SQRT}(A_1^2 + A_2^2)$ y la compensación de fase $\text{PHI} = \arctan(A_2/A_1)$.

No hace falta decir que la reconstrucción de la señal descrita puede usarse no solo en la comprobación del amplificador 74 variable, sino también en una prueba de corriente en torbellino, si como resultado de ciertas circunstancias surgen las señales de la bobina receptora que saturan el convertidor A/D. En última instancia, el rango de medición puede ampliarse mediante esta reconstrucción de señal utilizando solo software.

La verificación relativamente simple del amplificador 74 variable descrito anteriormente permite el almacenamiento y uso de valores de corrección para la ganancia respectiva, permitiendo amplificadores más económicos de la misma calidad.

Hay filtros de resonancia, como el filtro de resonancia (o una combinación de paso alto y paso bajo) 78, lo que permite el funcionamiento con una frecuencia de transmisión variable. La frecuencia de muestreo más favorable que surge en función de la velocidad de la probeta, el ancho efectivo de la bobina y la frecuencia de transmisión. Como ya se ha descrito, en una autocomprobación que utiliza la variación de la frecuencia y la amplitud del voltaje de entrada, se pueden determinar las frecuencias de esquina y la inclinación del borde de los filtros.

Los cambios del hardware del sensor, especialmente el daño, pueden determinarse temprano mediante las mediciones de impedancia descritas de los devanados del transmisor y del receptor utilizando la unidad 62 de autocomprobación, de modo que se puedan evitar tanto como sea posible los tiempos de prueba con hardware del sensor dañado. Como resultado, la medición se vuelve más confiable.

La medición descrita del voltaje de compensación de la bobina receptora por la unidad 62 de autocomprobación permite la detección temprana de problemas de sobreimpulso, por ejemplo, en conjunción con ciertos materiales de la probeta. Esto permite reacciones preventivas a problemas y aumenta la confiabilidad de la prueba.

La posibilidad de calibración del sistema por medio de la unidad 62 de autocomprobación y el estándar 96 de calibración permite la calibración simple del sistema en el sitio, eliminando la necesidad de instalación y desmontaje de un adaptador de prueba en el sistema. Como resultado, la producción y el mantenimiento del sistema es más económico, ya que no es necesaria una adaptación de una interfaz en un dispositivo de prueba.

El propio estándar 96 de calibración, si se hace como una unidad separada, también puede ser calibrado a intervalos regulares por un laboratorio de calibración certificado, como se describió previamente.

La figura 2 ilustra un diagrama de bloques de un ejemplo de un dispositivo de medición inductivo de acuerdo con un aspecto de la invención reivindicada que se usa para detectar fallas en una probeta en movimiento y un método de demodulación digital. Aparte de la función de autocomprobación y la reconstrucción de la señal, este dispositivo se describe en el documento WO 2006/007826 A1. Aquí, una pieza 13 de prueba en forma de un artículo industrial semiacabado, por ejemplo, una losa, que se prueba cuando se mueve linealmente con una velocidad variable v más allá de la sonda 11. La velocidad se detecta con un detector 21 de velocidad que puede entregar, por ejemplo, una señal esencialmente proporcional a la velocidad v . La señal puede ser, por ejemplo, una señal rectangular (posiblemente también de dos pistas para poder distinguir hacia delante y hacia atrás) que contenga un pulso, por ejemplo, 5 mm de avance de la pieza 13 de prueba.

La sonda 11 tiene un transmisor en forma de una bobina 18 transmisora y una bobina 15 receptora. Con un campo electromagnético alterno con al menos una frecuencia portadora dada, la bobina 18 transmisora se usa para inducir corrientes en torbellino en la pieza 13 de prueba. Estas las corrientes en torbellino a su vez inducen un voltaje de AC

en la bobina 15 receptora, que actúa como señal de sonda y tiene una oscilación portadora con la frecuencia portadora de la bobina 18 transmisora. La amplitud y la fase de la señal de la sonda se modulan por una falla 23 cuando la falla 23 se desplaza hacia la anchura WB efectiva de la bobina 15 receptora. La bobina 15 receptora está hecha preferiblemente como una bobina diferente, es decir, una bobina con dos bobinados que están enrollados en la dirección opuesta, y reaccionan solo a cambios de las propiedades eléctricas debido a la presencia de una falla 23 de la probeta. Las bobinas de diferencia son adecuadas principalmente para la detección de cambios bruscos en la pieza 13 de prueba. También se puede usar una bobina absoluta como la bobina 15 receptora que comprende varios devanados enrollados en la misma dirección, y especialmente adecuados para la detección de cambios homogéneos largos en la pieza 13 de prueba.

El voltaje para la bobina 18 transmisora puede producirse mediante una señal binaria producida por una unidad 44 de temporizador y entregarse a un generador 48 como la frecuencia de entrada que produce una señal rectangular o una señal sinusoidal que se desplaza a través del curvador 40 y luego se amplifica mediante un amplificador 42 de potencia antes de ser enviado a la bobina 18 transmisora. Preferiblemente, la señal tiene una forma sinusoidal y en el caso más simple contiene solo una única frecuencia portadora, pero mediciones con varias frecuencias portadoras al mismo tiempo y/o señales de portadora que difieren claramente de las oscilaciones sinusoidales también son posibles. Típicamente, la frecuencia de la portadora está en el rango de 1 kHz a 5 MHz.

Fundamentalmente, la bobina transmisora también se puede operar con una señal digital basada en la modulación de la duración del pulso. Esto tiene la ventaja de reducir en gran medida la pérdida de potencia en la etapa del controlador.

La señal de sonda recibida por la bobina 15 de recepción se desplaza a través de un filtro 19 de paso de banda y un preamplificador 17 ajustable antes de ser suministrada a una etapa 35 de conversión A/D. El filtro 19 de paso de banda se usa, por un lado, como filtro (anti)-interferente con respecto a la digitalización de la señal por la etapa 35 del convertidor A/D, y por otro lado, enmascarar las señales de ruido de alta frecuencia y baja frecuencia. El preamplificador 17 ajustable se usa para llevar la amplitud de la señal de la sonda analógica a la amplitud óptimamente adecuada para la etapa 35 del convertidor A/D.

La etapa 35 del convertidor A/D tiene dos convertidores 32 y 34 A/D que están conectados en paralelo y tienen alta resolución con una resolución de al menos 16 bits, preferiblemente al menos 22 bits. También es preferible que la etapa 35 del convertidor A/D sea capaz de realizar al menos 500 conversiones A/D por segundo. Los convertidores 32, 34 A/D son preferentemente convertidores de flash o convertidores de (registro de aproximación sucesiva) SAR.

La versión con dos convertidores A/D es un ejemplo. Es importante que la señal de falla se muestree ortogonalmente, lo que también se puede realizar con un solo convertidor.

La etapa 35 del convertidor A/D es accionada por un medio 37 de activación, que tiene la unidad 44 de temporizador mencionada anteriormente, un generador 48 de coseno, un generador 46 de seno situado paralelo al generador 48 de coseno, y un divisor 30 de frecuencia. La señal que se ha generado por el generador 48 de coseno y que tiene la frecuencia de la frecuencia portadora de la señal de suministro de la bobina 18 transmisora, está prevista en el divisor 30 de frecuencia. La señal del generador senoidal 46 que corresponde a la señal del generador 48 de coseno, pero con un desplazamiento de fase de 90° a la misma, también se proporciona al divisor 30 de frecuencia. En el divisor 30 de frecuencia estas dos señales se dividen con respecto a su frecuencia en un número entero n. La correspondiente señal de salida de frecuencia reducida se utiliza para activar el convertidor 32 A/D y el convertidor 34 A/D. La selección del número n para el divisor 30 se realiza mediante un procesador 60 de señal digital dependiendo de la frecuencia de falla, es decir, el cociente de la velocidad actual de la pieza v de prueba, y la anchura WB efectiva de la bobina 15 receptora. Preferiblemente, n se elige para ser inversamente proporcional a la frecuencia de falla principal para la tasa de activación de la etapa 35 del convertidor A/D sea al menos aproximadamente proporcional a la frecuencia de falla principal. Esto da como resultado que si se supone que la anchura WB efectiva en la primera aproximación es constante, a una velocidad v mayor de la probeta y, por lo tanto, a una frecuencia de falta alta, la señal de sonda analógica se muestrea con más frecuencia.

Preferiblemente, el divisor 30 está hecho como un componente llamado PAL (Lógica de Arreglo Programable) para asegurar que las señales de disparo lleguen de forma sincrónica, a la señal de salida del generador 48 de coseno y al generador 46 de seno sin fluctuación de fase en la etapa 35 del convertidor A/D.

Debido al desplazamiento de fase correspondiente de las dos señales de entrada del divisor 30, los dos convertidores 32, 34 A/D también se disparan con una compensación de fase fija de 90° . De esta forma, la señal de sonda analógica se puede evaluar en dos componentes, es decir, con respecto a la amplitud y la fase. Resulta evidente que el retardo de fase entre la señal de activación de la señal 35 del convertidor A/D y la señal de la bobina 18 del transmisor debería ser lo más pequeña posible, y también debería evitarse la llamada fluctuación de fase, es decir, las relaciones de fase deben ser constantes en el tiempo lo más exactamente posible.

Con los medios 37 de disparo ilustrados, la señal de sonda analógica se muestrea por cada convertidor 32, 34 A/D como máximo una vez por onda completa de la oscilación portadora (en este caso n es igual a 1). Dependiendo de

la frecuencia de falla actual, es decir, la velocidad de la pieza v de prueba, n puede ser mucho mayor que 1, por lo que el muestreo se realiza solo en cada n -ésima onda completa de la oscilación portadora.

5 Como ya se mencionó, lo que importa es que el muestreo se tome ortogonalmente. Cuando el muestreo se realiza a 0° y 90° , se obtienen los componentes complejos de la señal de falla. A 180° y 270° se obtienen los mismos componentes, pero en el inverso a los tomados a 0° y 90° . Invertiendo estos componentes, se puede formar un promedio y, por lo tanto, se puede usar una tasa de muestreo incrementada. Dichos métodos de muestreo tienen ventajas con respecto al ruido y el diseño del filtro de entrada.

10 La señal de salida digital de dos canales desmodulada de la etapa 35 del convertidor A/D viaja a través de un filtro 52 de paso de banda digital que puede ser el procesador 60 de señal. El filtro 52 de paso de banda digital se utiliza para enmascarar las señales de ruido fuera del ancho de banda de la señal de falla. Para este propósito, la frecuencia de esquina del filtro de paso alto (filtro de software) se elige preferiblemente de modo que sea menor que un cuarto de la frecuencia de falla, mientras que la frecuencia de esquina del filtro de paso bajo se elige preferiblemente a la rata del reloj y la rata del reloj se adapta automáticamente al cambio de la frecuencia de falla por
15 señal que aún contienen información de la falla.

20 El paso de banda 52 digital se sincroniza con la rata de muestreo de la etapa 35 del convertidor A/D, es decir, la velocidad de disparo. Esto tiene la ventaja de que las frecuencias de esquina del paso de banda son automáticamente arrastradas con la frecuencia de falla cuando la frecuencia de falla cambia, es decir, cuando la velocidad de la pieza v de prueba cambia, ya que las frecuencias de esquina de un filtro pasabanda digital son proporcionales a la rata del reloj y la rata del reloj se adapta automáticamente al cambio de la frecuencia de falla por medio de la rata de muestreo que está estipulada por la unidad 37 de disparo.

25 Esto también se aplica análogamente cuando se ha cambiado la frecuencia de transmisión. Esto reduce el costo de la filtración digital con respecto a los diferentes tipos de etapas de filtro.

30 La información necesaria para determinar la frecuencia de fallo principal con respecto al ancho WB efectivo puede introducirse manualmente en el procesador 60 de señal disponible directamente por la sonda 11, como se describe, por ejemplo, en la solicitud de patente europea No. 0 734 522 B.

35 Resulta evidente que el sistema de medición reacciona análogamente al cambio de la frecuencia de falla que se produce cuando la velocidad v de la probeta permanece constante, pero la bobina 15 receptora se reemplaza por otra con una anchura WB efectiva diferente.

La señal útil, que se obtiene después de la filtración por el filtro 52 de paso de banda digital, se evalúa de manera conocida por una unidad 50 de evaluación para detectar y localizar las fallas 23 de la pieza 13 de prueba. Se usa para detectar tanto la información de amplitud como la información de fase de la señal de falla.

40 En particular, para valores relativamente grandes de n , es decir, cuando solo se muestrean un número relativamente pequeño de ondas completas de la oscilación portadora, la bobina 15 transmisora y/o la electrónica de evaluación, especialmente el procesador 60 de señal, se pueden apagar o poner en espera para reducir el consumo de energía durante las pausas de muestreo. Tal capacidad es importante especialmente para dispositivos de medición portátiles.

45 En el procesador 60, se implementa la unidad 62 de autocomprobación para las funciones de supervisión y calibración nombradas anteriormente junto con la figura 1. Por lo tanto, la unidad 62 de autocomprobación controla la disposición 66 del conmutador con tres conmutadores 63, 67, 69 para alimentar la señal para la bobina 18 transmisora de la sonda 11 al derivar la bobina 18 transmisora y la bobina 15 receptora directamente como una
50 señal periódica de entrada en el procesamiento de la señal, es decir, en la entrada del filtro 19 de paso de banda.

55 Las figuras 3 a 5 muestran un ejemplo de un dispositivo de medición inductivo de acuerdo con un aspecto de la invención reivindicada usado para detectar partículas eléctricamente conductoras en un líquido que fluye usando un método de demodulación digital. Aparte de la función de autocomprobación, este dispositivo se describe en la solicitud de patente alemana no publicada previamente, con número de solicitud de 10 2007 039 434.0 y correspondiente a la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos No. 2009/0051350. Fundamentalmente, el procesamiento de la señal, especialmente la reconstrucción de la señal cuando el convertidor A/D está sobrepulsando, y las funciones de autocomprobación se realizan de forma análoga al enfoque descrito anteriormente que se muestra en la figura 2.

60 Como se muestra en la figura 4, un segmento 10 de tubería está rodeado por una primera bobina 12 receptora inductiva y una segunda bobina 14 receptora inductiva que está separada de la bobina 12 receptora en la dirección axial de manera que un líquido 16 fluye en el segmento 10 de tubería que fluye a través de las bobinas 12 y 14 en la dirección axial. La distancia axial de las dos bobinas 12, 14 y las dimensiones axiales de las bobinas 12, 14 son, por ejemplo, 2 mm. Las dos bobinas 12, 14 receptoras están rodeadas en el exterior por una bobina 18 transmisora que está situada coaxialmente a las dos bobinas 12, 14 y tiene un diámetro mayor que las bobinas 12, 14. El
65

5 dimensionamiento axial de la bobina 18 transmisora es tal que las dos bobinas 12, 14 receptoras están situadas completamente dentro de la bobina 18 transmisora. Preferiblemente, la extensión de la bobina 18 transmisora en la dirección axial es al menos dos veces mayor que la extensión axial de la disposición de las bobinas 12, 14 receptoras, es decir, la distancia más la extensión axial de las bobinas 12, 14. Las bobinas 12, 14, 18 están situadas en una carcasa 22 que rodea el segmento 10 de tubería y forma una sonda 11.

10 Típicamente, el segmento 10 de tubería es parte del circuito de lubricante de una máquina, luego el líquido 16, por ejemplo, es un lubricante que contiene partículas de metal que típicamente son abrasión de partes móviles de la máquina. Un valor típico para la velocidad de flujo del lubricante en el flujo principal es de 10 litros/min. A caudales mucho más altos, es ventajoso medir un flujo secundario, en lugar del flujo principal.

15 Como se muestra en la figura 5, las dos bobinas 12, 14 receptoras están conectadas de forma sugestiva como bobina 15 de diferencia, es decir, están enrolladas en direcciones opuestas, de modo que se induce un voltaje con la misma cantidad pero con signos opuestos en las dos bobinas 12, 14. Las bobinas 18 transmisoras y las bobinas 12, 14 receptoras forman una disposición de transformador, donde la bobina 18 transmisora forma el lado primario y las bobinas 12, 14 receptoras forman el lado secundario. El núcleo del transformador está formado por los materiales o medios alimentados a través de las bobinas 12, 14, 18, por ejemplo, aire, la carcasa 22, la tubería 10 y el líquido 16 con las partículas 20.

20 La diferencia de impedancia de las bobinas 12, 14 causada por las partículas 20, es decir, la diferencia de la impedancia de las dos bobinas 12, 14 causada por la presencia instantánea de una partícula 20 en una de las dos bobinas 12, 14 (las partículas 20 son mucho más pequeñas que la distancia de las bobinas 12, 14), se forma una imagen mediante la señal de medición emitida por las bobinas 12 y 14.

25 La figura 3 muestra un ejemplo de la estructura del dispositivo de medición de la corriente en torbellino que usa la sonda 11 de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

30 La bobina 18 transmisora se usa, por medio de un campo electromagnético alterno con al menos una frecuencia portadora dada, para inducir corrientes en torbellino en las partículas 20, que a su vez inducen un voltaje AC que actúa como la señal de sonda en la bobina 15 receptora, que es una bobina de diferencia. El voltaje AV inducido en la bobina receptora tiene una oscilación portadora con la frecuencia portadora de la bobina 18 transmisora. La amplitud y la fase de la señal de sonda son moduladas por una partícula 20 cuando esta última viaja al ancho WB efectivo de la bobina 15 receptora.

35 El voltaje de la bobina 18 transmisora puede producirse, por ejemplo, mediante una señal binaria producida por una unidad 44 de temporizador de entrada a un generador 48 que produce una señal rectangular o una señal sinusoidal, que se desplaza a través del curvador 40 y luego es amplificado por un amplificador 42 de potencia antes de ser enviado a la bobina 18 transmisora. Preferiblemente la señal tiene una forma sinusoidal y en el caso más simple contiene solo una única frecuencia portadora, pero también puede contener varias frecuencias portadoras al mismo tiempo y/o señales portadoras que difieren distintamente de las oscilaciones sinusoidales. Normalmente, la frecuencia portadora está en el rango de 5 kHz a 1 MHz.

45 La señal de sonda recibida por la bobina 15 de recepción viaja a través de un filtro 19 de paso de banda y un preamplificador 17 ajustable antes de ser suministrada a una etapa 35 de conversión A/D. El filtro 19 de paso de banda se usa, por un lado, mediante un filtro de paso bajo como un filtro (anti)-interferente con respecto a la digitalización de la señal por la etapa 35 del convertidor A/D, y por otro lado, mediante un paso alto para enmascarar las señales de ruido de baja frecuencia. El preamplificador 17 ajustable se usa para llevar la amplitud de la señal de la sonda analógica a la amplitud óptimamente adecuada para la etapa 35 del convertidor A/D.

50 La etapa 35 del convertidor A/D tiene dos convertidores 32, 34 A/D que están conectados en paralelo y tienen una alta resolución con una resolución de al menos 16 bits, preferiblemente al menos 22 bits, y son capaces de llevar a cabo al menos 500 conversiones A/D por segundo. Los convertidores 32, 34 A/D están hechos preferiblemente como convertidores de flash o convertidores de (registro de aproximación sucesiva) SAR.

55 Si la compensación del voltaje de compensación se lleva a cabo por medio de un convertidor y restador D/A adicional, una resolución del convertidor A/D de 12 bits es suficiente.

60 La etapa 35 del convertidor A/D es activada por un medio 37 de activación que tiene la unidad 44 de temporizador mencionada anteriormente, el generador 48 de coseno, el generador 46 de seno que está situado paralelo al generador 48 de coseno, y el divisor 30 de frecuencia. Una señal es proporcionada al divisor 30 de frecuencia. La señal ha sido generada por el generador 48 de coseno y tiene la frecuencia de la frecuencia portadora de la señal de suministro de la bobina 18 transmisora, y la señal del generador 46 de seno que corresponde a la señal del generador 48 de coseno, pero que está desfasado en 90° con respecto a la señal del generador 48 de coseno. En el divisor 30 de frecuencia estas dos señales están divididas con respecto a su frecuencia en un número entero n. La correspondiente señal de salida de frecuencia reducida se usa para activar el convertidor 32 A/D y el convertidor 34 A/D. La selección del número n para el divisor 30 se lleva a cabo por un procesador 60 de señal digital dependiendo

de la frecuencia de partícula, que es el cociente de la velocidad v de flujo del líquido 16, es decir, la velocidad v de las partículas 20, y el ancho WB efectivo de la bobina 15 receptora. Preferiblemente, n se elige para ser inversamente proporcional a la frecuencia de las partículas para que la velocidad de disparo de la etapa 35 del convertidor A/D sea al menos aproximadamente proporcional a la frecuencia de las partículas. Por lo tanto, si se supone que el ancho WB efectivo en la primera aproximación es constante, a una velocidad v de flujo/partícula mayor y, por lo tanto, a una frecuencia de partícula más alta, la señal de sonda analógica se muestrea con más frecuencia.

Preferiblemente, el divisor 30 está hecho como un componente llamado PAL (Lógica Matriz Programable) para asegurar que las señales de disparo lleguen con el mínimo retraso, es decir, tan sincronizadamente como sea posible con la señal de salida del generador 48 de coseno y el generador 46 de seno y sin fluctuación de fase en la etapa 35 del convertidor A/D.

Debido al desplazamiento de fase correspondiente de las dos señales de entrada del divisor 30, los dos convertidores 32, 34 A/D también se disparan con una compensación de fase fija de 90° . De esta forma, la señal de sonda analógica se puede evaluar en una forma de dos componentes, es decir, ambos con respecto a la amplitud y la fase. Resulta evidente que el retardo de fase entre la señal de activación de la señal 35 del convertidor A/D y la señal de la bobina 18 del transmisor debería ser lo más pequeña posible, y también debería evitarse la llamada fluctuación de fase, es decir, las relaciones de fase deben ser tan constantes en el tiempo como sea posible.

Se asegura que la señal de sonda analógica se muestree por cada convertidor 32 y 34 A/D como máximo una vez por onda completa de la oscilación portadora (en este caso n es igual a 1) con los medios 37 de activación ilustrados. Dependiendo de la corriente la frecuencia de partícula, es decir, la velocidad del líquido v , n , sin embargo, puede ser mucho mayor que 1, de modo que el muestreo solo tiene lugar en cada n -ésima onda completa de la oscilación portadora.

Como el muestreo tiene lugar como máximo una vez por onda completa por convertidor 32, 34 A/D, la frecuencia de la oscilación portadora, es decir, la frecuencia portadora, se elimina de la señal digital por este submuestreo, es decir, la demodulación de la señal de sonda analógica se lleva a cabo mediante submuestreo.

Preferiblemente, n se elige de manera que se observe una señal de partícula perceptible en el intervalo de tiempo. Es decir, se elige un intervalo de tiempo tal que un punto de una partícula 20 se mueva a través del ancho WB efectivo de la bobina 15 receptora en este intervalo de tiempo que corresponde esencialmente a la inversa de la frecuencia principal de partículas, que es al menos 5, preferiblemente al menos 20 muestras son tomadas por cada convertidor 32 y 34 A/D para obtener suficiente información contenida en la señal de partícula, suficiente para la detección confiable de partículas. Generalmente, sin embargo, no más de 50, como máximo 100 muestreos serán necesarios durante este intervalo de tiempo, un mínimo de 10 muestreos.

La frecuencia de la oscilación portadora debe elegirse de manera que sea al menos diez veces la frecuencia de la partícula, ya que de lo contrario la señal de la partícula es transportada por muy pocas ondas completas de la oscilación portadora y la reproducibilidad de la detección de partículas se convierte en un problema.

La señal de salida digital de dos canales desmodulada de la etapa 35 del convertidor A/D viaja a través de un filtro 52 de paso de banda digital que puede ser el procesador 60 de señal y que se utiliza para enmascarar señales de ruido que están fuera del ancho de banda de la señal de partículas. Para este propósito, la frecuencia de esquina del paso alto se elige preferiblemente de manera que la frecuencia de esquina sea menor que un cuarto de la frecuencia de partícula, mientras que la frecuencia de esquina del filtro de paso bajo se elige preferiblemente de modo que sea al menos dos veces la frecuencia de partícula para evitar enmascarar las porciones de señal que aún contienen información con respecto al paso de partículas.

El filtro 52 de paso de banda digital está sincronizado con la tasa de muestreo de la etapa 35 de conversión A/D, es decir, la tasa de disparo; esto conlleva la gran ventaja de que las frecuencias de esquina del filtro de paso de banda cuando la frecuencia de las partículas cambia, es decir, cuando la velocidad de las partículas v cambia, son automáticamente arrastradas con la frecuencia de las partículas ya que las frecuencias de esquina de un filtro de paso de banda digital son proporcionales a la tasa de reloj que se adapta automáticamente al cambio de la frecuencia de partículas por medio de la tasa de muestreo que está estipulada por la unidad 37 de disparo.

La información que es necesaria para determinar la frecuencia de partículas principal con respecto al ancho WB efectivo puede introducirse manualmente en el procesador 60 de señal o proporcionarse directamente por el cabezal 11 de medición, como se describe, por ejemplo, en la solicitud de patente europea No. 0 734 522 B1 y correspondiente a la publicación de solicitud de patente internacional. No. 95/16912.

Resulta evidente que el sistema de medición reacciona análogamente al cambio de la frecuencia de la partícula que se produce cuando la velocidad de la partícula v se mantiene constante, pero la bobina 15 receptora se reemplaza por otra con un ancho WB efectivo diferente.

5 En particular, para valores relativamente grandes de n , es decir, cuando solo se muestrea un número relativamente pequeño de ondas completas de la oscilación portadora, por ejemplo, la bobina 18 transmisora y/o la electrónica de evaluación, es decir, especialmente el procesador 60 de señal, se puede apagar o poner en espera durante las pausas de muestreo para reducir el consumo de energía. Esto es importante especialmente para dispositivos de medición portátiles.

La señal útil obtenida después de la filtración por el filtro 52 de paso de banda digital se evalúa en una unidad 50 de evaluación para detectar el paso de partículas 20 usando la información de amplitud y fase de la señal de partículas.

10 Ventajosamente, la unidad 50 de evaluación está hecha de tal manera que los pasos de partículas detectados se cuentan de modo que se pueden sacar conclusiones sobre la concentración de partículas en el líquido 16 y el estado de la máquina.

15 Fundamentalmente, en una bobina de diferencia, como resultado de la formación de diferencia (las bobinas individuales de la bobina de diferencia nunca son exactamente iguales en la práctica), surge el llamado voltaje de compensación de bobina que puede exceder la señal de falla real en varios órdenes de amplitud, por ejemplo, de 100 a 30000 veces. La amplitud relativamente grande resultante de la señal de la bobina receptora en comparación con la señal útil real impone altas exigencias a la electrónica, especialmente en la resolución del convertidor A/D.

20 Las funciones de monitorización y calibración, que se nombran anteriormente junto con la figura 1, se implementan en la unidad 62 de autocomprobación del procesador 60. Por lo tanto, la unidad 62 de autocomprobación controla la disposición 66 de conmutador con tres conmutadores 63, 67, 69 para alimentar la señal para la bobina 18 transmisora de la sonda 11 al derivar la bobina 18 transmisora y la bobina 15 receptora directamente como una señal de entrada periódica en el procesamiento de señal, es decir, en la entrada del filtro 19 de paso de banda.

25

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para detección no destructiva y sin contacto de fallas (23) en una pieza (13) de prueba que se mueve con relación al dispositivo, que comprende:

5 una disposición (18) de bobina transmisora con al menos una bobina (18) transmisora para exponer la pieza (13) de prueba a una pluralidad de campos electromagnéticos alternos periódicos

10 una disposición (15) de bobina receptora con al menos una bobina (12, 14, 15) receptora para detectar una señal eléctrica periódica que tiene una oscilación portadora tal que al menos una de una amplitud y una fase es modulada por una falla en la probeta cuando se detecta una falla por la disposición de la bobina receptora;

15 una unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal para producir una señal útil a partir de una señal de bobina receptora;

una unidad (50, 60, 64) de evaluación para evaluar la señal útil para propósitos de detección de la falla en la probeta;

20 una unidad (62) de autocomprobación que automáticamente o tras una solicitud externa lleva a cabo una verificación cuantitativa sistemática de las funciones de procesamiento de señales de al menos una de las unidades (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal, la disposición (18) de bobina transmisora y la disposición (15) de bobina receptora, y previa solicitud externa realiza la calibración de la unidad de procesamiento de señal con un estándar (96) de calibración que es para reemplazar al menos uno de la disposición (18) de la bobina transmisora y/o la disposición (15) de la bobina receptora,

25 cuya unidad (62) de autocomprobación conmuta la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal para verificar las funciones de procesamiento de señal de modo que la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora se alimenta directamente como una señal de entrada periódica en la unidad de procesamiento de la señal, y se varía sistemáticamente por la unidad de autocomprobación,

30 donde la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal comprende una pluralidad de amplificadores (17, 74) y una pluralidad de filtros (19, 52, 78) de frecuencia,

35 caracterizado porque

40 la unidad (62) de autocomprobación comprueba si la ganancia medida de al menos uno de la pluralidad de amplificadores y una frecuencia de esquina medida y la pendiente de la pluralidad de filtros de frecuencia están dentro de una especificación predeterminada con una variación de una frecuencia y una amplitud de la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora, y emite una señal de falla correspondiente si la especificación no se cumple.

45 2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un controlador (40, 42, 70) para al menos una de una pluralidad de bobinas (11, 18) transmisoras que comprende un sensor (72) de corriente, en el que la unidad (62) de autocomprobación supervisa y determina una impedancia de la al menos una bobina transmisora a partir de una corriente de bobina transmisora y el voltaje de bobina transmisora.

50 3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la bobina (15) receptora tiene una disposición de bobina diferente.

4. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la unidad (62) de autocomprobación monitoriza y determina un voltaje de compensación de al menos una bobina (15) receptora.

55 5. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la unidad (62) de autocomprobación almacena la corriente de bobina transmisora y un voltaje de compensación de bobina receptora como una función del tiempo para la observación de cambios a largo plazo de al menos una bobina (18) transmisora y la menos una bobina (15) receptora.

60 6. Dispositivo de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una bobina (82) transmisora del sensor de distancia y al menos una bobina (82) receptora del sensor de distancia,

65 en el que la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal produce una señal de distancia de la señal de bobina sensor-receptora de distancia que es una medida de una distancia entre la pieza (13) de prueba y la disposición (18) de la bobina transmisora y/o la disposición (12, 14, 15) de la bobina receptora.

7. Dispositivo de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una pluralidad de canales,
- 5 en el que la disposición (18) de la bobina transmisora y la disposición (15) de la bobina receptora comprenden cada una una pluralidad de bobinas que están asignadas cada una a una frecuencia de medición.
8. Dispositivo de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, en el que el estándar (96) de calibración comprende al menos un elemento RC.
- 10 9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que una pluralidad de convertidores (35, 80) A/D de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señales se comprueban con respecto a su precisión mediante una resistencia de medición calibrada del elemento RC.
- 15 10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en el que una frecuencia de muestreo del procesador (60) de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal se verifica con una frecuencia de esquina del elemento RC.
- 20 11. Dispositivo de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, en el que el estándar (96) de calibración es una unidad externa separada que se puede conectar al dispositivo antes de la calibración.
12. Dispositivo de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 1 - 10, en donde el estándar (96) de calibración está comprendido en el dispositivo y puede conmutarse antes de la calibración en lugar de al menos una de la disposición (18) de bobina transmisora y la disposición (15) de bobina receptora.
- 25 13. Dispositivo para detectar partículas (20) eléctricamente conductoras en un líquido (16) que fluye en un segmento (10) de tubería con una velocidad (v), que comprende
- 30 una disposición (18) de bobina transmisora con al menos una bobina transmisora para exponer el líquido a una pluralidad de campos electromagnéticos alternos periódicos que inducen una pluralidad de corrientes en torbellino en las partículas (20);
- 35 una disposición (15) de bobina receptora con al menos una bobina (12, 14) receptora para detectar una señal eléctrica periódica, de acuerdo con las corrientes en torbellino inducidas y que tiene una oscilación portadora donde al menos uno de una amplitud y una fase es modulado por las partículas cuando las partículas se desplazan dentro de un ancho efectivo de la disposición de la bobina receptora;
- 40 una unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal para producir una señal útil a partir de una señal de bobina receptora;
- 45 una unidad (50, 60, 64) de evaluación para evaluar la señal útil para detectar el paso de partículas eléctricamente conductoras en un segmento de tubería;
- 50 una unidad (62) de autocomprobación que automáticamente o tras una solicitud externa lleva a cabo una verificación cuantitativa sistemática de al menos una de una pluralidad de funciones de procesamiento de señal de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal, la disposición (18) de la bobina transmisora, y la disposición (15) de bobina receptora, y previa solicitud externa para llevar a cabo la calibración de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal por medio de un estándar (96) de calibración que reemplaza al menos uno de la disposición de la bobina transmisora y la disposición de la bobina receptora.
- 55 cuya unidad (62) de autocomprobación conmuta la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal para verificar las funciones de procesamiento de señal de modo que la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora se alimenta directamente como una señal de entrada periódica en la unidad de procesamiento de la señal, y se varía sistemáticamente por la unidad de autocomprobación,
- 60 en donde la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal comprende una pluralidad de amplificadores (17, 74) y una pluralidad de filtros (19, 52, 78) de frecuencia, caracterizado porque
- 65 la unidad (62) de autocomprobación comprueba si la ganancia medida de al menos uno de la pluralidad de amplificadores y una frecuencia de esquina medida y la pendiente de la pluralidad de filtros de frecuencia están dentro de una especificación predeterminada con una variación de frecuencia y amplitud de la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora, y emite una señal de falla correspondiente si la especificación no se cumple.

14. Método para la detección no destructiva y sin contacto de fallas (23) en una pieza (13) de prueba que se mueve en relación con el dispositivo por medio de corrientes parásita, que comprende

5 exponer la probeta a una pluralidad de campos electromagnéticos alternos periódicos con una disposición (18) de bobina transmisora;

10 detectar una señal eléctrica periódica con una disposición (15) de bobina receptora tal que la señal eléctrica de periódica tiene una oscilación portadora donde al menos uno de una amplitud y una fase es modulada por una falla en la probeta cuando se detecta una falla por la disposición de bobina receptora;

15 producir una señal útil a partir de la señal de bobina receptora con una unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal;

20 evaluar la señal útil con una unidad (50, 60, 64) de evaluación para detectar una falla en la probeta;

25 comprobar sistemática y cuantitativamente al menos una de las funciones de procesamiento de señal de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal, la disposición (18) de bobina transmisora, y la disposición (15) de bobina receptora, donde la verificación sistemática y cualitativa se realiza automáticamente o previa solicitud, y/o se sustituye un estándar (96) de calibración por al menos uno de una disposición de bobina transmisora y una disposición de bobina receptora con el fin de llevar a cabo la calibración de la unidad de procesamiento de señal,

30 en donde la verificación sistemática y cuantitativa se realiza conmutando la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal para verificar las funciones de procesamiento de señales tales que la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora se alimenta directamente como una señal de entrada periódica en la unidad de procesamiento de señal, y por variación sistemática,

35 en donde la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal comprende una pluralidad de amplificadores (17, 74) y una pluralidad de filtros (19, 52, 78) de frecuencia,

40 caracterizado porque

45 la verificación sistemática y cuantitativa comprende verificar si la ganancia medida de al menos uno de la pluralidad de amplificadores y una frecuencia de esquina medida y pendiente de la pluralidad de filtros de frecuencia están dentro de una especificación predeterminada con una variación de frecuencia y una amplitud de la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora, y emitiendo una señal de falla correspondiente si la especificación no se cumple.

15. Método de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende además:

40 muestrear la señal de la bobina receptora con una etapa 35 de convertidor A/D activable;

45 filtrar con filtros (52, 78) de frecuencia para obtener una señal útil demodulada; y activar la etapa del convertidor A/D con la n-ésima fracción integral de la frecuencia de la oscilación portadora de la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora.

50 16. Método de acuerdo con la reivindicación 15, en donde n se elige dependiendo de la frecuencia de falla que surge como un cociente de la velocidad relativa entre la pieza (13) de prueba y la disposición (15) de bobina receptora y el ancho efectivo de la disposición de bobina receptora y los filtros de frecuencia se establecen como una función de la frecuencia de falla.

17. Método para detectar partículas (20) eléctricamente conductoras en un líquido que fluye en un segmento (10) de tubería con una velocidad (v), que comprende

55 exponer el líquido a campos electromagnéticos alternos periódicos con una disposición (18) de bobina transmisora para inducir corrientes en torbellino en las partículas (20);

60 detectar una señal eléctrica periódica según las corrientes en torbellino con una disposición (15) de bobina receptora, de modo que la bobina receptora que tiene una oscilación portadora cuya amplitud y fase son moduladas por las partículas cuando las partículas se desplazan a un ancho efectivo de la disposición de bobina receptora;

65 producir una señal útil a partir de la señal de bobina receptora por medio de una unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal;

- 5 evaluar la señal útil con una unidad (50, 60, 64) de evaluación para detectar un paso de partículas eléctricamente conductoras en el segmento de tubería;
comprobar sistemática y cuantitativa de al menos una de las funciones de procesamiento de señal de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal, la disposición (18) de bobina transmisora, y la disposición (15) de bobina receptora, donde la verificación sistemática y cuantitativa se realiza automáticamente o previa solicitud, y/o se sustituye un estándar (96) de calibración por al menos uno de una disposición de bobina transmisora y una disposición de bobina receptora para llevar a cabo una calibración de la unidad de procesamiento de señal,
- 10 donde la verificación sistemática y cuantitativa se realiza conmutando la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal para verificar las funciones de procesamiento de señales tales que la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora se alimenta directamente como una señal de entrada periódica en la unidad de procesamiento de señal, y por variación sistemática,
- 15 en donde la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal comprende una pluralidad de amplificadores (17, 74) y una pluralidad de filtros (19, 52, 78) de frecuencia, caracterizado porque
- 20 la verificación sistemática y cuantitativa comprende verificar si la ganancia medida de al menos uno de la pluralidad de amplificadores y una frecuencia de esquina medida y pendiente de la pluralidad de filtros de frecuencia están dentro de una especificación predeterminada con una variación de frecuencia y una amplitud de la señal para la disposición (18) de la bobina transmisora y emitiendo una señal de falla correspondiente si la especificación no se cumple.
- 25 18. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 - 17, donde verificar sistemáticamente y cuantitativamente al menos una de las funciones de procesamiento de señal de la unidad (17, 19, 35, 37, 52, 60, 68, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 94) de procesamiento de señal, la disposición (18) de la bobina transmisora, y la disposición (15) de la bobina receptora se lleva a cabo automáticamente cada vez que se
- 30 inicia la unidad de procesamiento de la señal.

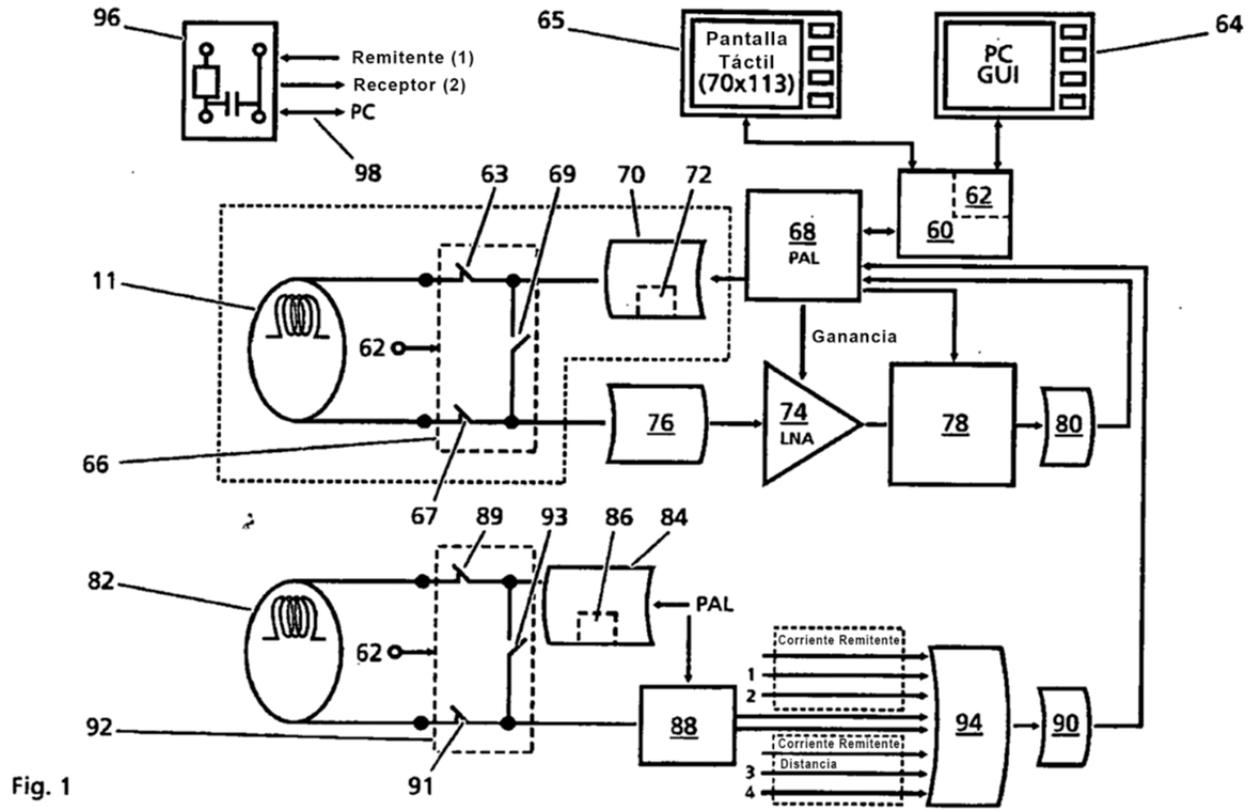


Fig. 1

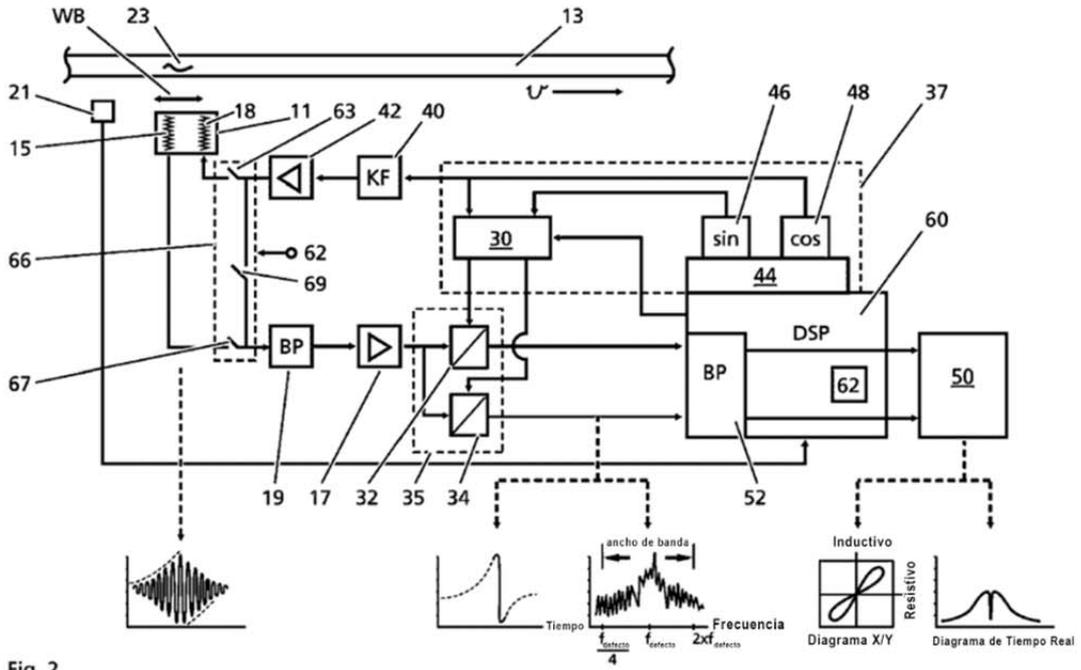


Fig. 2

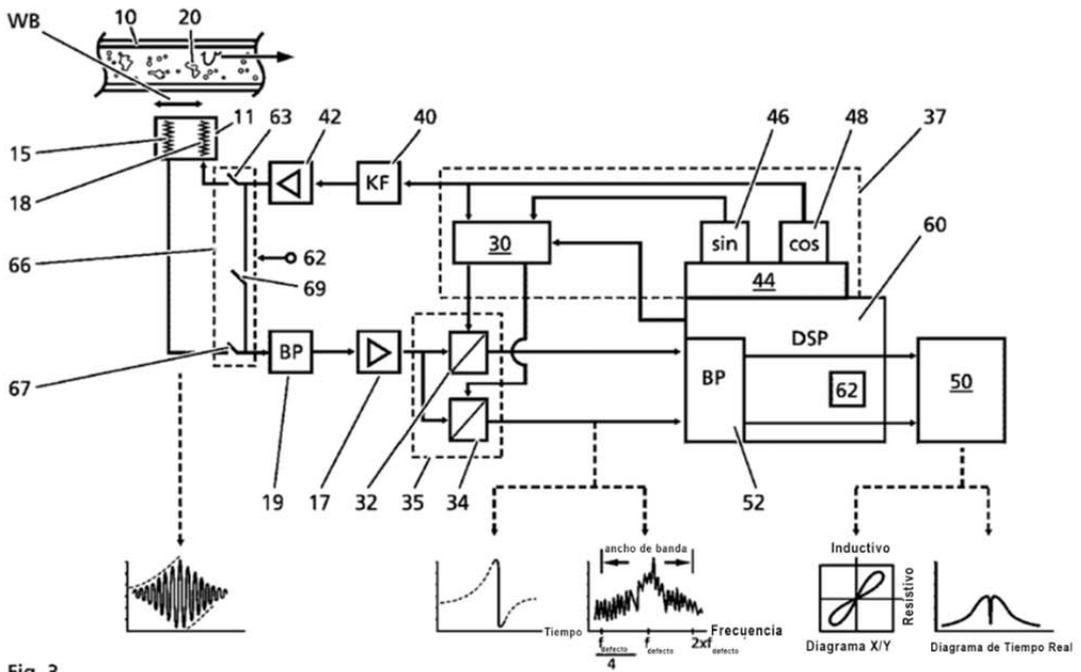


Fig. 3

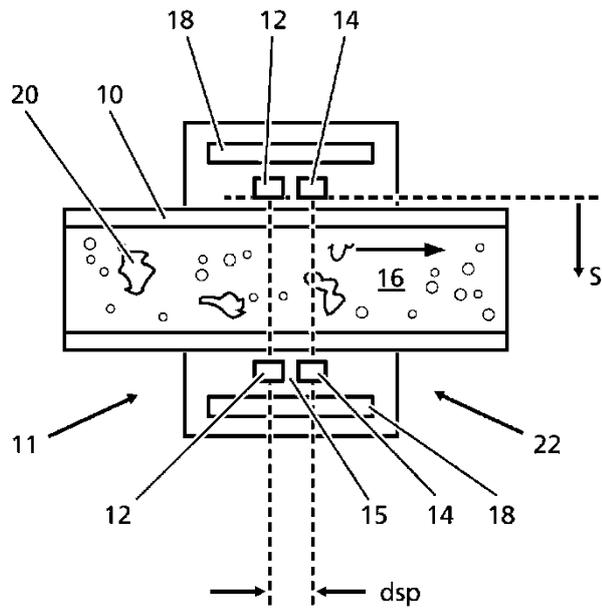


Fig. 4

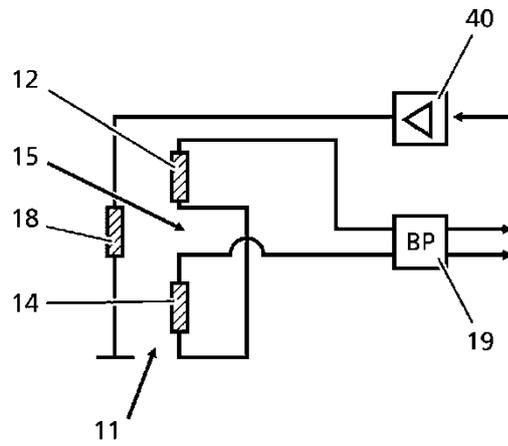


Fig. 5