

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 487**

51 Int. Cl.:
G01F 1/84 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08075322 .1**
96 Fecha de presentación: **29.04.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2034280**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.03.2009**

54 Título: **Caudalímetro de efecto Coriolis con al menos tres sensores**

30 Prioridad:
10.09.2007 NL 1034360

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.11.2012

73 Titular/es:
**BERKIN B.V. (100.0%)
NIJVERHEIDSSTRAAT 1A
7261 AK RUURLO, NL**

72 Inventor/es:
**JOUWSMA, WYBREN y
MEHENDALE, ADITYA**

74 Agente/Representante:
ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 391 487 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

Caudalímetro de efecto Coriolis con al menos tres sensores

5 [0001] La invención se refiere a un sistema de medición del tipo de Coriolis para medición de un caudal másico o magnitud de caudal que comprende un tubo de circulación y medios de excitación para hacer rotar al tubo alrededor de un eje de rotación, que comprende al menos tres sensores dispuestos libre en el tubo circulación para generar señales analógicas que se correspondan con el movimiento del tubo, y que comprende medios para digitalizar las señales analógicas y para calcular el caudal másico a partir de las señales de sensor digitalizadas.

10 [0002] Se conocen sistemas de medición de este tipo a partir de los documentos EP 1719982 A1 y EP 1719 983 A1. El sistema de medición descrito allí tiene tres sensores ópticos a, b, c dispuestos en línea y asociados con el tubo para generar señales analógicas en tres posiciones en correspondencia con el movimiento del tubo, siendo en particular las posiciones de los sensores a y b simétricas respecto al eje de rotación, mientras que la posición del sensor c es coaxial a la de los sensores a y b, a una mayor distancia del eje de rotación que de las posiciones de los sensores a y b, y más alejado del a que del b.

15 [0003] El principio de Coriolis está basado en el efecto de que un caudal másico en circulación en un plano en rotación genera una fuerza perpendicular a la dirección de movimiento del caudal másico y al eje de rotación. Para este propósito, habitualmente, una forma tubular se somete a vibración en una frecuencia natural alrededor del eje de rotación. La fuerza de Coriolis genera un movimiento alrededor de un eje de rotación que es perpendicular al eje de la vibración inducida. La relación entre la amplitud de la rotación inducida y la rotación generada por la fuerza de Coriolis es una función lineal del caudal másico. Medir el movimiento de tubo en una situación estratégica (a saber, donde la deflexión debida a la fuerza de Coriolis es máxima) hace posible obtener una determinación óptima de la relación entre el movimiento inducido y el generado. El movimiento del tubo puede determinarse mediante una medición de posición, una medición de velocidad o una medición de aceleración. El método clásico para medir el efecto de Coriolis en un caudalímetro másico de Coriolis es medir el movimiento del tubo por medio de dos sensores alrededor del eje de rotación de la excitación.

25 [0004] En general, las fuerzas de Coriolis generadas son pequeñas, de tal manera la relación entre la amplitud de las fuerzas generadas e inducidas será pequeña. Dadas estas pequeñas relaciones, la diferencia de fase entre dos sensores es, por tanto, aproximadamente igual a la relación entre los desplazamientos generados e inducidos. La diferencia de fase en este caso es una medida para el caudal másico de un medio circulante a través del tubo. Las pequeñas diferencias de fase son aquí una función lineal del caudal másico.

30 [0005] La posición de los sensores respecto de la posición neutra del tubo no cambia habitualmente en los caudalímetros másicos del tipo de Coriolis existentes, ya que el tubo tiene una forma fija o porque los sensores están mecánicamente incorporados al tubo. La situación exacta de los sensores respecto del polo de rotación del tubo, sin embargo, determina la sensibilidad del instrumento. Si esta situación no muestra desviación, la sensibilidad de un instrumento puede determinarse definitivamente a través de calibración. Siempre habrá una pequeña variación de sensibilidad entre los instrumentos individuales, debido a una variación en las posiciones de los sensores entre otros factores, y cada instrumento tendrá que ser calibrado para obtener una precisión máxima.

35 [0006] Los instrumentos de medición de caudal tales como, por ejemplo, los descritos en EP 1719982 A1 y EP 1719983 A, tienen que ser muy sensibles al efecto Coriolis para así ser capaces de medir de forma precisa caudales másicos bajos, comprenden un tubo que está suspendido (de forma elástica) para así poder ser movido por fuerzas muy bajas mientras están asociados a sensores sin contacto. Esto tiene como desventaja que las posiciones exactas de los sensores respecto del eje de rotación del tubo no son constantes. Este eje de rotación puede mostrar desviación con el transcurso del tiempo debido a la temperatura, presión, o de las fuerzas de gravedad. Puesto que los sensores del instrumento no están conectados al tubo, si se utilizan dos sensores la sensibilidad del instrumento mostrará una correspondiente desviación. El cambio de fase medida está entonces influenciada no solo por el caudal másico, sino también por las posiciones de los dos sensores respecto del denominado polo de rotación. Esto causa una desviación en la sensibilidad del instrumento y le hace menos apropiado para ser utilizado como un caudalímetro másico de precisión.

40 [0007] La invención tiene por objeto, entre otros, proporcionar un caudalímetro del tipo de Coriolis que tenga una mayor sensibilidad y precisión para ser capaz de medir satisfactoriamente magnitudes de caudal bajas. De acuerdo con la invención, un primer aspecto del caudalímetro másico del tipo mencionado en el párrafo de apertura está caracterizado porque los medios para calcular el caudal másico están dispuestos para utilizar exclusivamente la información temporal de las señales de sensor.

45 [0008] El caudalímetro de acuerdo con la invención utiliza sensores que miden el movimiento del tubo sin contacto, por ejemplo de forma capacitiva o en particular de forma óptica. Los sensores ópticos son capaces de medir la información temporal del movimiento armónico de tubo con un alto grado de precisión. Si la información de amplitud del sensor también se utiliza, es posible compensar la desviación del polo de rotación indicado anteriormente. La información precisa de dos sensores en tiempo y amplitud son suficientes en principio para determinar la relación

entre el movimiento de la excitación y del generado por las fuerzas de Coriolis, proporcionando un tubo de forma laxa. Ya que la información de amplitud de las señales de los sensores utilizados puede ser objeto de desviación debido a la temperatura y envejecimiento, la amplitud no es muy apropiada para utilizarse como información suplementaria. De conformidad con la invención, por tanto, se utiliza la información temporal de un tercer sensor. Esto puede compensar el desplazamiento del polo de rotación del tubo.

[0009] El documento US 6.705.172 revela un sistema de medición de caudal del tipo de Coriolis que comprende un tubo, un vibrador de tubo, dos sensores de desplazamiento en los puntos A y B, y un sensor más dispuesto en el punto del vibrador C. Se menciona que: "es posible de esta manera determinar la amplitud y el preciso ángulo de fase cero. Partiendo de aquí los ángulos de fase precisos de la vibraciones pueden ser determinados en los puntos A y B" (Col. 6, líneas 40,43). Esto significa que de acuerdo con el US 6.705.172 es necesario determinar la amplitud y el ángulo de fase de al menos un señal de sensor. En otras palabras: no solo se determina la información temporal sino también la información de amplitud.

[0010] La invención se distingue porque los medios están presentes para derivar a partir de la información temporal la relación entre las amplitudes del movimiento del tubo debido a la excitación y a aquellas debidas a las generadas por las fuerzas de Coriolis y calculando el caudal másico a partir de esta relación.

[0011] La relación exacta entre la excitación y el desplazamiento generado puede ser determinado de forma precisa a partir de la información temporal precisa del tercer sensor, con independencia de la situación exacta del polo de rotación del tubo respecto de los sensores. La información temporal precisa de los tres sensores se utiliza para determinar de forma precisa la relación de amplitudes entre la excitación y las generadas por las fuerzas Coriolis, ello por medio de algoritmos de circuitos electrónicos digitales, incluso cuando la situación del polo de rotación pudiera desplazarse durante el funcionamiento normal. Ya que la relación entre dos amplitudes es una función lineal del caudal másico, dicho caudal másico puede determinarse a través de multiplicaciones por un factor de sensibilidad.

[0012] En una realización del sistema de medición de caudal del tipo de Coriolis de acuerdo con la invención, los dos primeros sensores están situados juntos y de forma simétrica respecto del eje de rotación del tubo. Un tercer sensor se monta inmediatamente adyacente a uno de los dos primeros sensores.

[0013] Se pueden utilizar convertidores analógico-digital (A/D) de canal único separados, por ejemplo tres en el caso de tres sensores, o convertidores A/D de canal múltiple, por ejemplo un convertidor de tres canales A/D en el caso de tres sensores. Es posible de forma alternativa, sin embargo, utilizar convertidores estándar de dos canales (estéreo), a saber un par de convertidores A/D. Serán utilizados dos pares en el caso de tres sensores.

[0014] Para prevenir el deterioro de la calidad de los datos medidos debido a la rotación de fase interna con la utilización de dos pares de convertidores A/D, la información de un sensor es leída por dos veces. Si un sensor es leído dos veces, el resultado serán un total de cuatro señal digitales en el caso de tres sensores, estando presente la señal de un sensor doblemente. El par 1 de señales de sensor comprenden, por ejemplo la información de los sensores 1 y 2. El par 2 de señales de sensor comprende entonces, por ejemplo, la información de los sensores 1 y 3. Esta idea puede extenderse para cubrir más de tres sensores y más de dos pares de convertidores A/D.

[0015] Una realización del sistema de medición de caudal del tipo de Coriolis de acuerdo con la invención, está caracterizado a este respecto, por medios para digitalizar las señales analógicas y para generar señales de sensor digitalizadas, siendo leídas dos veces la señales de, al menos, un sensor.

[0016] Una realización adicional está caracterizada porque la señal que es leída dos veces es la señal de uno de los sensores que están simétricamente dispuestos respecto del eje de rotación.

[0017] La invención también ser refiere a un caudalímetro que comprende cuatro o cinco [o más] sensores dispuestos en línea. Se puede llevar acabo así una determinación incluso aún más precisa de la posición del polo de rotación mediante linealización.

[0018] La invención también es efectiva sin que tres o más sensores sean dispuestos en línea, siempre y cuando sus distancias al eje de rotación sean diferentes.

[0019] La invención se refiere además a un método para medir un caudal másico utilizando un caudalímetro del tipo de Coriolis.

[0020] Se explicaran en mayor detalle unas pocas realizaciones con referencia a los dibujos.

La figura 1 muestra un caudalímetro del tipo de Coriolis con un tubo de Coriolis y tres sensores:

La figura 2 es un primer diagrama de bloques del procesado de las señales de los sensores del sistema de medición de caudal de la figura 1;

La figura 3 es un segundo diagrama de bloques del procesado de las señales de los sensores de un sistema de medición de caudal de la figura 1.

5 **[0021]** La figura 1 muestra un realización especial (aunque la invención es aplicable a todo tipo de tubo de Coriolis) de un caudalímetro 1 del tipo de Coriolis con un tubo de detección en forma de bucle 2 doblado formando un rectángulo para así formar una vuelta substancialmente completa (360°). El tubo de detección en forma de bucle 2 comprende dos porciones de tubo laterales paralelas 2c, 2d, que están conectadas a un extremo de una primera porción de tubo transversal 2e y al otro extremo a dos segundas porciones de tubo transversal 2a, 2b, estando conectado el último a un tubo (flexible) de alimentación 3 y a un tubo de descarga 4 para un medio en circulación en el lado opuesto en donde se conectan los tubos laterales 2c, 2d. El tubo 2 forma un rectángulo cuyas esquinas son redondeadas para así hacer posible su plegado de forma tal. El tubo de alimentación 3 se conecta a una línea de alimentación 6 a través de un bloque de conexión 20, y el tubo de descarga 4 está conectado de forma similar a una línea de descarga 7. Los tubos de alimentación y descarga 3, 4 en esta realización se extienden dentro del bucle 2 y están fijados a un marco 13 por medios de fijación 12. Los tubos flexibles de alimentación y descarga 3, 4 no forman parte del bucle de forma rectangular del tubo de detección 2 pero proporcionan una fijación elástica al marco 13 del bucle 2. El bucle 2 puede en consecuencia ser considerado como suspendido de forma elástica por medio de tubos de alimentación y descarga. Una propiedad deseada a este respecto es que la frecuencia natural de la porción del tubo asociada con el sensor debería ser substancialmente mayor que la frecuencia de la conexión entre esta porción de tubo y el marco, de tal manera que no se produzcan modos naturales locales. El tubo de medición podría ser, por ejemplo, un tubo de acero inoxidable con un diámetro externo de aproximadamente 0,7mm y un espesor de pared de aproximadamente 0.1 mm. Dependiendo del diámetro externo del bucle 2 y de la presión que el tubo es capaz de soportar (por ejemplo 100 bar), el diámetro externo del tubo será en general menor de 1 mm y el espesor de 0.2 mm o menor.

25 **[0022]** Los tubos 3 y 4, yacen mutuamente enfrentados a cada lado de/y de forma simétrica con respecto al eje principal de simetría S del tubo 2 (no mostrado), estando fijados con los medios de fijación 12, por ejemplo por medio de abrazaderas, soldaduras o soldados, siendo fijados a su vez dichos medios 12 al marco 13. Una alternativa es fijar los tubos 3, 4 directamente al marco 13.

30 **[0023]** En la construcción de la figura 1, los medios de excitación que hacen que el bucle 2 gire alrededor del eje principal de simetría (en este caso el eje primario o eje de excitación) comprenden una culata magnética 8 que está fijada al marco 13, prevista con un imán permanente 19, y que tiene dos entrehierros 9 y 10 a través de los cuales se extienden las porciones 2a y 2b (indicadas anteriormente como primeros tubos transversales) del tubo en forma de bucle 2, así como medios para introducir una corriente eléctrica en el tubo 2. En la figura 1 estos son medios para generar por inducción una corriente eléctrica en el tubo 2. La culata magnética de imanes permanentes 8 tiene dos porciones de culata superiores 8a y 8a' que están separadas de la parte de culata inferior 8b por los entrehierros 9 y 10. El imán permanente 19 está situado entre las porciones de culata 8a y 8a' con su polo (norte) enfrentado a la porción de culata 8a y su otro polo (sur) enfrentado a la porción de culata 8a.

40 **[0024]** La corriente es inducida en el tubo por medio de dos núcleos transformadores 17, 17a que están provistos con respectivas bobinas eléctricas 18a, 18b y a través de cada uno de los cuales se hace pasar la respectiva porción lateral 2c, 2d del tubo. Las bobinas 18a, 18b pueden estar enrolladas en los lados interiores de los núcleos transformadores, como se muestra, o en uno de sus otros lados. La combinación por un lado de los campos magnéticos opuestamente dirigidos generados en los entrehierros 9 y 10 de la culata de magnetismo permanente 8 y que son transversales a la dirección de la corriente y de la corriente inducida en el tubo 2 por otro lado, ejercen en el tubo un par, debido a lo cual el tubo empieza a rotar (a saber oscilar o vibrar, en el denominado modo de torsión) alrededor del eje de rotación.

45 **[0025]** Cuando un medio está circulando a través del tubo, el tubo empezará a oscilar alrededor de un eje de respuesta que es transversal al eje de rotación (en el denominado modo de torsión). En funcionamiento los desplazamiento (sinusoidales) de los puntos de la porción de tubo 2e, que son representativos del caudal, son detectados por el sensor del efecto de Coriolis, en este caso comprendiendo un primer sensor 11a situado adyacente a la porción de tubo 2e y al segundo sensor 11 b. El primer y segundo sensor están dispuestos directamente enfrentados de forma simétrica respecto al eje de excitación de rotación adyacente al punto de intersección de este con la porción de tubo 2e. Se sitúa un tercer sensor 11c en línea con los dos primeros directamente enfrentados al lado exterior a efectos de corrección. Los sensores pueden ser por ejemplo de tipo electromagnético, inductivo, capacitivo o ultra-sónico. En la realización de la figura1, sin embargo, se ha optado por sensores ópticos. Los denominados sensores opto-electrónicos 11a, 11 b y 11 c son utilizados como los sensores ópticos, teniendo cada uno de ellos un alojamiento en forma de U que se fija al marco 13, con una fuente de luz (por ejemplo LED) en una rama de la U y una célula de medición de luz en la otra (un foto-transmisor por ejemplo) situada en oposición a la fuente de luz. La parte de tubo 2e, o una paleta fijada a esta es capaz de moverse entre las ramas del alojamiento en forma de U del sensor 11a, 11b (y si está presente, del 11c), interceptando de este modo más o menos luz procedente de la fuente de luz.

[0026] La figura 2 es un diagrama de bloques que muestra el funcionamiento de una realización de caudalímetro de Coriolis de conformidad con la invención. Tres sensores S1, S2, S3 en línea son utilizados para detectar el movimiento del tubo de acuerdo con el diagrama de bloques de la figura 2. Los tres sensores juntos forman un sistema de detección por medio del cual se consigue una cantidad suficiente de información temporal para así supervisar el movimiento del tubo. La relación de amplitud entre la excitación y la respuesta es determinada a partir de estas señales.

[0027] El principio de trabajo es como sigue: las señales analógicas originadas a partir de los sensores S1, S2, S3 son convertidas en señales digitales por convertidores analógico-digital CAD 1, CAD 2, CAD 3. La diferencia de señal entre los sensores S1 y S2 y la diferencia de señal entre los sensores S1 y S3 son importantes para la invención. La información de los dos primeros sensores se utiliza con carácter indicativo para llevar a vibración al tubo en una frecuencia natural por medio de una rutina de oscilador. La frecuencia y fase de esta vibración son posteriormente determinadas por medio de un PLL (bucle de bloqueo de fase) 24. Esta es una tecnología estándar. Se deriva entonces una señal de seno y coseno de referencia a partir de la frecuencia y la fase del PLL 24. El seno de referencia está en consecuencia exactamente en fase, el coseno de referencia está desfasado en exactamente 90° respecto de la señal que procede del PLL 24. La señal del PLL tiene la frecuencia exacta del tubo de Coriolis, que vibra a su frecuencia natural. Posteriormente, las tres señales digitales de los sensores S1, S2, S3 son mezcladas con (a saber multiplicadas) con el seno y coseno de referencia del PLL 24. Por cada señal el componente es por tanto determinado que se encuentra en fase o desfasado respecto de la fase del PLL. El filtrado de cada una de esas señales por separado (en paralelo) a través de un filtro paso bajo 21a, b; 22a, b; 23a, b produce componentes DC de cada sensor. Por consiguiente en este momento están disponibles 6 señales. La fase de cada señal digital de sensor respecto de la fase del PLL se determina ahora en los bloques 25, 26, 27 en los que para cada par de señales se determina el arcotangente. Esto produce tres ángulos de fase relativos respecto de la fase del PLL, a saber δ_1 , δ_2 and δ_3 . La fase de referencia del PLL es eliminada cuando los ángulos de fase independientes son comparados mutuamente. Esto significa que la diferencia es calculada entre las fases de los sensores 1 y 2. Luego, la diferencia es calculada entre las fases de los sensores 1 y 3. Todo esto lleva a dos ángulos de fase independientes, a saber, el ángulo de fase entre los sensores 1 y 2 de conformidad con $\delta_2 - \delta_1 = \delta_{12}$ y el ángulo de fase entre los sensores 1 y 3 de acuerdo con $\delta_3 - \delta_1 = \delta_{13}$. Estos ángulos de fase independiente suministran la necesaria, en efecto suficiente, información para ser capaz de compensar el desplazamiento del polo de rotación del tubo.

[0028] Se explicará ahora una versión modificada con referencia al diagrama de bloques mostrado en la figura 3.

[0029] Las señales analógicas procedentes de los tres sensores ópticos S1, S2, S3, son convertidas en señales digitales por medio de convertidores analógico/digital (A/D). Esto se hace, en este caso, por componentes estándar en donde está presente un convertidor A/D "estéreo" doble ADC 1 L./ADC 1 R; ADC 2L./ADC 2R, por medio del cual son leídos un total de cuatro canales. La diferencia en las señales entre los sensores S1 y S2 y la diferencia en las señales entre los sensores S1 y S3 se encuentran aún por determinar. Para prevenir el deterioro de la calidad de la medición debido a una rotación de fase interna en el convertidor A/D, la información de un sensor, en este caso S1, es leída dos veces, una por cada par de convertidores A/D. Esto lleva por consiguiente a cuatro señales digitales de las cuales aquí la señal del sensor S1 esta presente duplicada. El par 1 de las señales de sensor comprende la información de los sensores S1 y S2. El par 2 de las señales de sensor comprende la información de los sensores S1 y S3.

[0030] De forma alternativa, en lugar de la señal del sensor S1, la señal del sensor S2 o del sensor S3 puede ser leída doblemente.

[0031] La información de los dos primeros sensores se utiliza con carácter indicativo para llevar al tubo a vibración a una frecuencia natural por medio de una rutina de oscilador. La frecuencia y fase de esta vibración están posteriormente determinadas por medio de un PLL (bucle de bloqueo de fase) 31. Esta es una tecnología estándar. Se deriva entonces una señal de seno y coseno de referencia a partir de la frecuencia y fase del PLL 31. El seno de referencia está en consecuencia exactamente en fase, el coseno de referencia está desfasado exactamente 90° respecto de la señal procedente del PLL 31. La señal del PLL tiene la frecuencia exacta del tubo de Coriolis, que vibra a su frecuencia natural. Posteriormente, las cuatro señales digitales de los sensores son mezcladas con (a saber multiplicadas) con el seno y coseno de referencia del PLL 31. Por cada señal el componente es por tanto determinado si está en fase o fuera desfasada de la fase del PLL. El filtrado de cada una de esas señales por separado (en paralelo) a través de un filtro paso bajo 32a-h produce componentes DC de cada sensor. Por consiguiente en este momento están disponibles ocho señales. La fase de cada señal digital de sensor respecto de la fase del PLL se determina ahora en los bloques 33 a 36 en los que se determina el arcotangente para cada par de señales. Esto produce cuatro ángulos de fase relativos respecto de la fase del PLL, a saber δ_{1a} , δ_2 , δ_{1b} , δ_3 . La fase de referencia del PLL es eliminada cuando los ángulos de fase independientes son mutuamente comparados. Esto significa que la diferencia es calculada entre las fases de los sensores S1 y S2. Luego, la diferencia es calculada entre las fases de los sensores S1 y S3. Todo esto lleva a dos ángulos de fase independientes, a saber, el ángulo de fase entre los sensores S1 y S2 de conformidad con $\delta_2 - \delta_{1a} = \delta_{12}$ y el ángulo de fase entre los sensores 1

y 3 de acuerdo con $\delta_3 - \delta_{1b} = \delta_{13}$. Estos ángulos de fase independiente suministran la necesaria, en efecto suficiente, información para ser capaz de compensar el desplazamiento del polo de rotación del tubo.

5 **[0032]** El principio de compensación de cambio del polo de rotación a partir de dos ángulos de fase independiente δ_{12} y δ_{13} funciona como sigue: primero son compensados los errores de punto cero en la fase de medición. Esto hace que los dos ángulos de fase sean medidos para un caudal cero. Por medio de válvulas de cierre se garantiza que no haya caudal a través de instrumento durante esta medición. Luego, la señal medida se almacena en una memoria. Los valores almacenados para caudal cero son posteriormente restados de los ángulos de fase medidos durante las mediciones de caudal. Esto es una tecnología estándar para a compensar las desviaciones de punto
10 cero, también indicado como cero o compensación de la desviación. Las desviaciones de fase causadas por imperfecciones mecánicas y eléctricas son compensadas de esta manera.

[0033] En el caso de tres sensores, se utiliza el hecho de que los sensores no cambian sus posiciones relativas. Los dos ángulos de fase independiente medidos son habitualmente ángulos agudos para el caso de valores de caudal bajo. La diferencia entre estos ángulos y un ángulo de π radianes proporciona los valores alternativos obtusos para estos dos ángulos de caudal bajo. Los valores obtusos de los dos ángulos de fase medidos son indicados como θ_1
15 y θ_2 . A partir de θ_1, θ_2 Se deriva un ángulo φ como sigue:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_1)}{[\sin(\theta_2) \cdot \cos(\theta_1)] - [2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2)]}\right)$$

[0034] Un ángulo γ se deriva a partir de este ángulo φ :

$$\gamma = \pi - \varphi - \theta_1$$

[0035] Después se calcula un ángulo α a partir de los ángulos φ y γ así obtenidos.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2 \cdot \tan(\varphi) \cdot \tan(\gamma)}{\tan(\varphi) + \tan(\gamma)}\right)$$

20

[0036] A partir de este ángulo α , que es igual a la fase entre la amplitud de excitación y de la amplitud generada por la fuerza de Coriolis, sigue la relación entre la amplitud de excitación y la amplitud generada por la fuerza de Coriolis. Esta relación es proporcional al caudal másico Φ_m como se representa a continuación:

$$\phi_m \propto 2 \cdot \tan(\alpha)$$

25 **[0037]** Resumiendo, la invención se refiere a un sistema de medición del tipo de Coriolis para medición de un caudal másico o magnitud de caudal que comprende un tubo de circulación y medios de excitación para hacer girar al tubo alrededor de un eje de rotación, que comprende al menos tres sensores dispuestos libres en el tubo de circulación para generar señales analógicas que se correspondan con el movimiento de dicho tubo, y que comprende medios para digitalizar las señales analógicas y para calcular el caudal másico a partir de las señales de sensor digitalizadas, donde los medios de cálculo están dispuesto para usar exclusivamente la información temporal de las
30 señales de sensor. La información temporal precisa de los sensores es utilizada por algoritmos en circuitos electrónicos digitales para determinar de forma precisa la relación entre la amplitud debida a la excitación y a aquellas debidas a las fuerzas de Coriolis. El caudal másico se deriva de esta relación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de medición (1) de tipo de Coriolis para medir un caudal másico, que comprende un tubo de circulación (2) y medios de excitación para hacer que dicho tubo de circulación (2) gire alrededor de un eje de rotación, comprendiendo al menos tres sensores (11a, 11b, 11c);(S1, S2, S3) dispuestos libres en el tubo de circulación (2) para generar señales analógicas que se corresponden con el movimiento del tubo (2), y que comprende medios (CAD 1, CAD2, CAD3) para digitalizar las señales analógicas y medios para el cálculo del caudal másico a partir de las señales de sensor digitalizadas,
- 10 caracterizado porque los medios para el cálculo del caudal másico están dispuestos para utilizar exclusivamente información temporal de las señales de sensor, estando presentes dichos medios para derivar a partir de la información temporal la relación entre las amplitudes del movimiento del tubo debido a la excitación y a aquellas debidas a las generadas por las fuerzas Coriolis y para calcular el caudal másico a partir de esta relación.
- 15 2. Sistema de medición del tipo de Coriolis como el reivindicado en la reivindicación 1, caracterizado por sensores S1, S2 y S3 asociados en el tubo de circulación para generar señales analógicas en tres posiciones en dependencia del movimiento del tubo, donde las posiciones de los sensores S1 y S2 son simétricas respecto al eje de rotación, mientras la posición del sensor S3 es coaxial a la posiciones de los sensores S1 y S2, está a una mayor distancia del eje de rotación que las posiciones de los sensores S1 y S2, y más alejado del S2 que del S1.
- 20 3. Sistema de medición del tipo de Coriolis como el reivindicado en la reivindicación 1, caracterizado por medios para generar señales seno y coseno que tengan la misma frecuencia, medios para multiplicar cada una de las señales digitalizadas por las señales seno y coseno salientes a un filtro paso bajo para proporcionar los componentes DC de las señales producto, medios para calcular la fase respecto de una fase de referencia a partir de la relación entre los dos componentes DC de cada señal entrante, medios para calcular la diferencia de fase entre la señal de los sensores S1 y S2, medios para calcular la diferencia de fase entre las señales de los sensores S1 y S3, y medios para calcular el caudal másico a partir de las diferencias de fase mencionadas.
- 25 4. Sistema de medición del tipo de Coriolis como el reivindicado en la reivindicación 1 o 2, caracterizado por medios para digitalizar las señales analógicas y para generar señales de sensor digitalizadas, siendo leída dos veces la señal de, al menos, uno de los sensores.
5. Sistema de medición del tipo de Coriolis como el reivindicado en la reivindicación 4, caracterizado por que la señal que es leída dos veces, es la señal de uno de los sensores que están simétricamente dispuestos respecto del eje de rotación.
- 30 6. Método de medición de un caudal másico por medio de un sistema de medición del tipo de Coriolis, con un tubo de circulación y al menos tres sensores asociados con estos para generar señales analógicas en dependencia del movimiento del tubo, cuyo método comprende las siguientes etapas:
- excitar el tubo de circulación en un modo primario para así hacerle oscilar alrededor del eje de rotación.
 - digitalizar las señales analógicas de sensor
 - 35 - calcular el caudal másico a partir de las señales de sensor digitalizadas, donde se utiliza exclusivamente la información temporal de dichas señales de sensor para calcular el caudal másico, la relación entre las amplitudes del movimiento del tubo debido a la excitación y a aquellos debidos a la generación de fuerzas de Coriolis que se deriva a partir de la información y siendo calculado el caudal másico a partir esta relación.
- 40 7. Método para medición de un caudal másico como es reivindicado en la reivindicación 6, caracterizado porque la información temporal de todos los sensores es utilizada, mediante algoritmos de circuitos eléctricos, para determinar la relación entre las amplitudes debida a la excitación y aquellas debidas a las generadas por fuerzas de Coriolis.

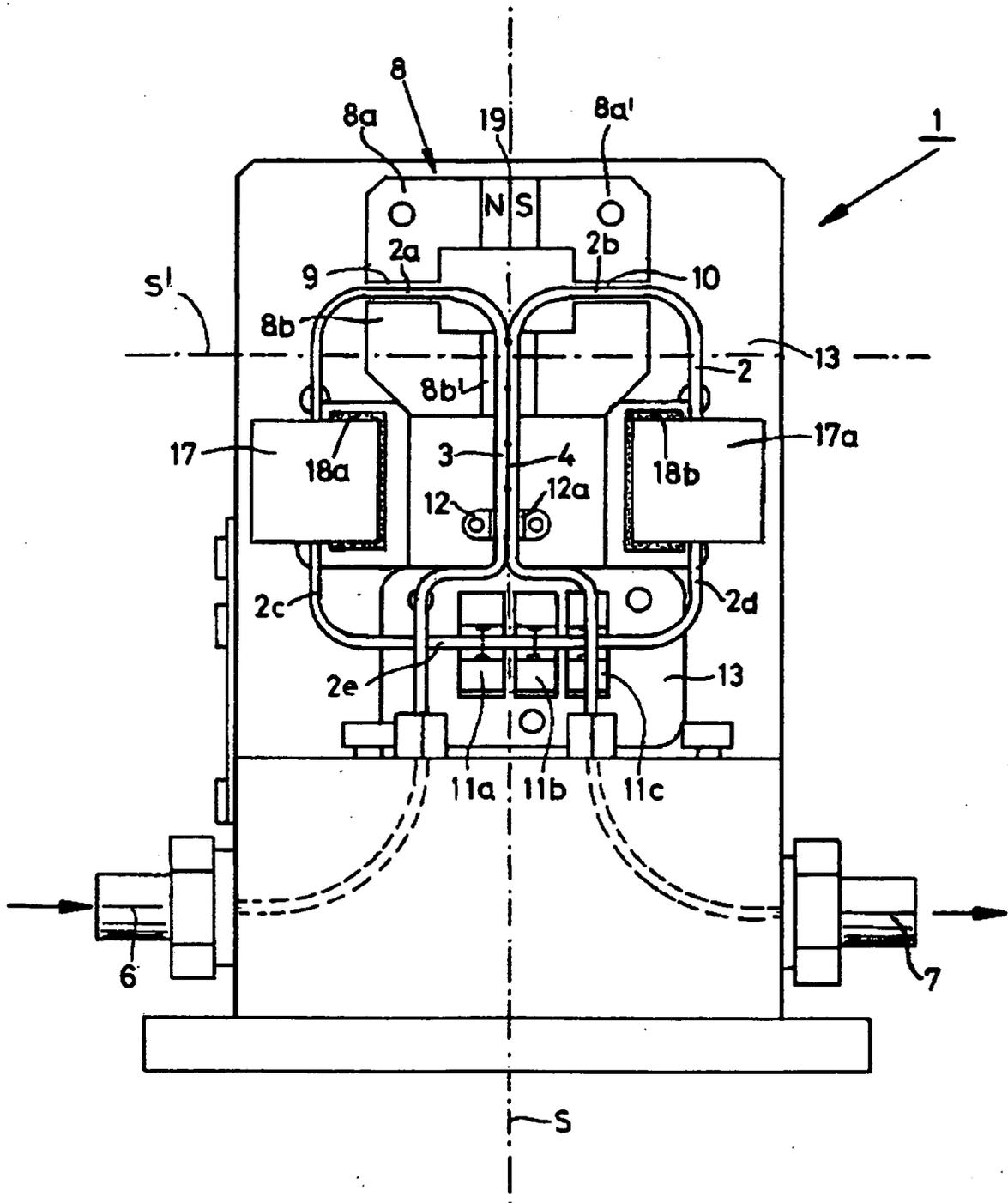


FIG.1

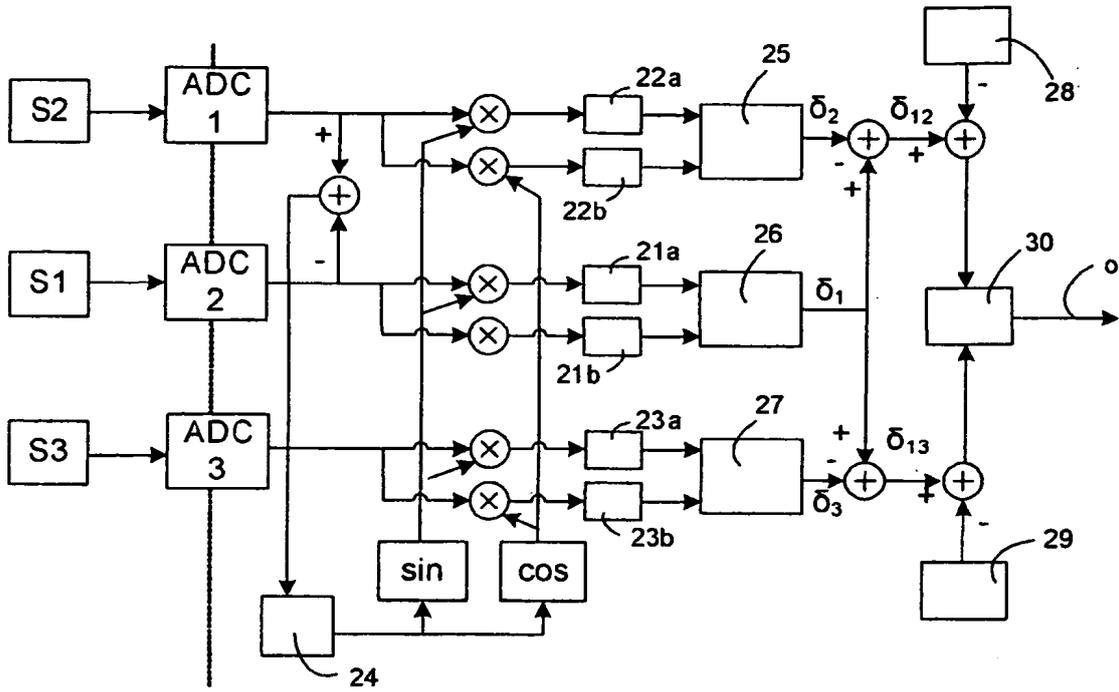


Fig. 2

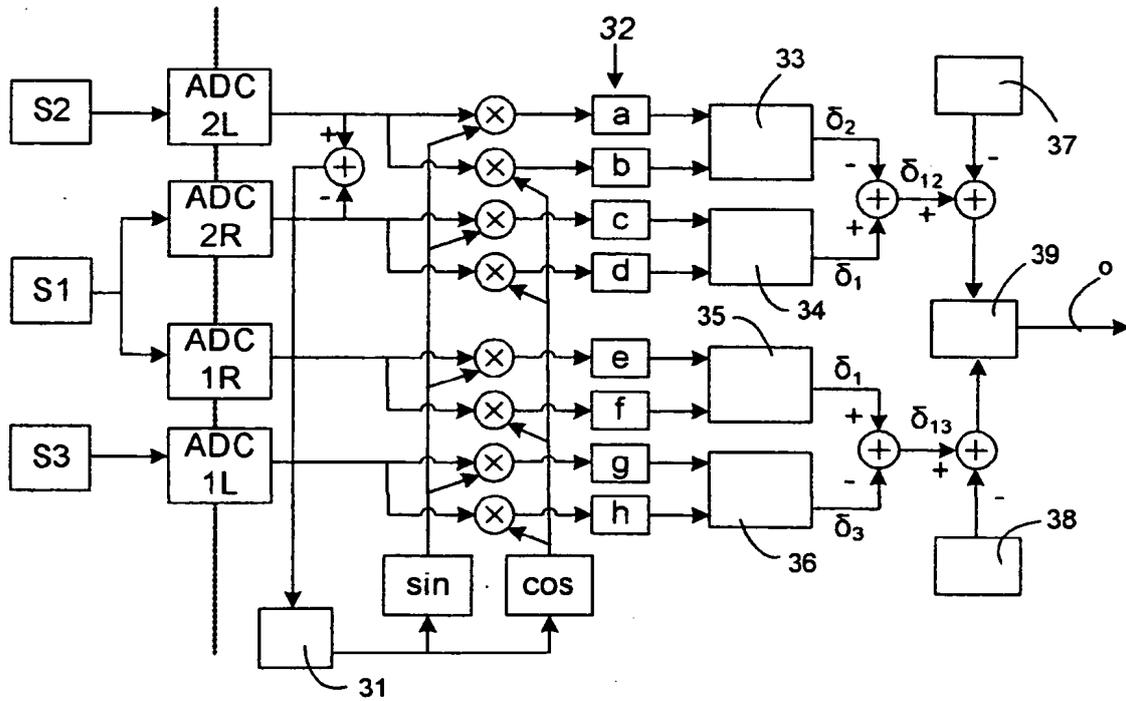


Fig. 3

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- EP 1719982 A1 [0002] [0006]
- EP 1719983 A1 [0002] [0006]
- US 6705172 B [0009]