

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 834 951**

51 Int. Cl.:

G01F 1/66 (2006.01)

G01S 15/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2012** **E 17001036 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2020** **EP 3249367**

54 Título: **Caudalímetro acústico**

30 Prioridad:

31.03.2011 DE 102011015677

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
21.06.2021

73 Titular/es:

**ROSEN SWISS AG (100.0%)
Obere Spichermatt 14
6370 Stans, CH**

72 Inventor/es:

**HEINKS, CARSTEN y
TWERDOWSKI, EVGENY**

74 Agente/Representante:

COBO DE LA TORRE, María Victoria

ES 2 834 951 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 acústico

(0001) La invención presente hace referencia a un caudalímetro acústico para la medición no invasiva del índice de flujo o de la velocidad del flujo en objetos por los que fluyen medios, que conducen electricidad, especialmente, de tubos u oleoductos, con un transductor de envío para la creación de, al menos, una onda ultrasónica en el objeto, que se acopla en el medio en el lado interior del objeto dirigido hacia el medio, como onda, especialmente, como onda longitudinal y con un transductor de recepción para la detección de una señal ultrasónica en el objeto, y la señal ultrasónica resulta, al menos parcialmente, por la onda (longitudinal).

(0002) Los caudalímetros convencionales no invasivos tienen que fijarse sobre los tubos o oleoductos, para que la onda ultrasónica producida por un transductor de envío se pueda acoplar en el tubo. Tanto la fijación del aparato como también el funcionamiento posterior no perjudican el transporte del medio en el tubo, por lo cual se habla de una medición de flujo no invasiva. A menudo se usan adicionalmente acopladores acústicos en forma de cuña que se disponen entre el elemento piezo y el objeto y que acoplan la señal acústica emitida por el transductor de envío a menudo usando adicionalmente un medio de acoplamiento en la pared del conducto.

(0003) La instalación y la puesta en marcha del transductor de envío y de recepción en el tubo representan un paso de trabajo crítico, habida cuenta que, dependiendo del medio, del espesor de pared y del material, se tiene que mantener con exactitud una distancia definida entre el transductor de envío y el de recepción para las ondas ultrasónicas producidas en el tubo. Sólo con mínimas variaciones de la distancia óptima empeora la señal notablemente. Además, los caudalímetros ultrasónicos convencionales sólo se pueden emplear en un ámbito de temperatura comparativamente reducido, tratándose aquí de la temperatura del objeto, preferiblemente, de un tubo u oleoducto. La temperatura de funcionamiento del transductor tiene que estar claramente por debajo de su temperatura de Curie, que en una multitud de transductores empleados está normalmente, entre 150° y 350°. Una solución para superar este problema se describe, por ejemplo, en el documento DE 4124692 A1, en el cual el transductor está conformado con una piezocerámica especial para usos a altas temperaturas. De este modo, se pueden medir las velocidades de flujo o índices de flujo de medios en objetos con temperaturas hasta 180°. Adicionalmente a la problemática de la temperatura pueden surgir, sin embargo, problemas críticos a causa de tensiones en el material del acoplador acústico, que se producen por elevados gradientes de temperatura. Además, es problemático un envejecimiento del medio de acoplamiento, en la mayoría de los casos, gelatinoso, empleado entre el acoplador acústico y el tubo. Con el envejecimiento que va en aumento del medio de acoplamiento se reduce la calidad de la señal de la onda ultrasónica producida en el objeto.

(0004) Caudalímetros no invasivos son conocidos en los documentos US 5608164 y JP 2001074759.

(0005) Es el objetivo de la invención presente conformar un caudalímetro acústico según el estado de la técnica para un ámbito de empleo mayor. El objetivo se cumple mediante un objeto según la reivindicación 1ª. Otras configuraciones ventajosas de la invención se han de extraer de las reivindicaciones dependientes, a las que aquí se hace referencia, así como de la descripción siguiente.

(0006) Conforme a la invención está previsto que el transductor de envío esté conformado como bobina de inducción de alta frecuencia, prescindiendo de un acoplamiento acústico del transductor de envío con la superficie del objeto para crear un campo magnético variable en una zona cercana a la superficie del objeto metálico y se produce la onda ultrasónica mediante efecto recíproco del campo magnético variable con un campo magnético estático o cuasiestático en esta zona. Una zona cercana a la superficie es la zona definida por la profundidad de penetración de la corriente en remolino creada por la bobina de inducción de alta frecuencia.

(0007) Un acoplamiento acústico del caudalímetro conforme a la invención con el objeto, por ejemplo, un oleoducto o un tubo no es necesario. El transductor de envío y el de recepción del caudalímetro acústico pueden estar dispuestos distanciados del objeto. Junto a medidas en los ámbitos por encima de 180° C, también se puede medir el flujo a través de objetos revestidos como, por ejemplo, oleoductos revestidos con cemento o plástico. En este caso, es una condición que el revestimiento sea conductivo para campos electromagnéticos. No es necesaria la eliminación del revestimiento del objeto requerida en el estado de la técnica.

(0008) Aunque el transductor de envío de un caudalímetro conforme a la invención puede estar también en contacto físico con el objeto, es suficiente cuando se puede posicionar en la cercanía del objeto por el que pasa el flujo. Las eliminaciones pueden estar en el ámbito de unos centímetros hasta, por ejemplo, 2 cm.

(0009) Mediante el uso de la bobina de inducción de alta frecuencia (en inglés: "High Frequency Induction Coil") se crea en una zona del objeto cercana a la superficie un campo alternativo magnético. Una parte del campo magnético de alta frecuencia creado por la o las bobinas de inducción de alta frecuencia penetra en el objeto e induce corrientes en remolino. Mediante el efecto recíproco de estas corrientes en remolino con un campo magnético estático o cuasiestático se produce una onda ultrasónica en el objeto, a causa de fuerzas de Lorentz o magnetoestricción.

(0010) Bajo el concepto de un campo magnético cuasiestático se entiende un campo magnético que se puede

considerar en los cálculos como estático frente a un campo magnético de alta frecuencia. Especialmente, varía un campo magnético cuasiestático con una frecuencia ≤ 200 Hz, preferiblemente ≤ 10 Hz, de forma que también los campos magnéticos creados electromagnéticamente pueden considerarse como campo magnético estático. Bajo el concepto de campo magnético de alta frecuencia se trata especialmente de un campo magnético oscilante.

(0011) Junto a la ventaja de poder medir a través de revestimientos existentes de un tubo y en un ámbito de temperatura amplio, el dispositivo está sujeto a una menor aparición de envejecimiento, a causa de los medios de acoplamiento que faltan. No es necesario un medio de acoplamiento que a menudo en el estado de la técnica ha de ser intercambiado.

(0012) Un caudalímetro conforme a la invención se describe aquí, a menudo, haciendo referencia a un objeto, en el cual ó en cuyo campo cercano está dispuesto. Semejante objeto conformado, por ejemplo, como tubo, sin embargo, no es objeto de la invención, más bien, el objeto conforme a la invención se configura después para el funcionamiento en semejante tubo.

(0013) Para finalidades de adaptación de la señal, la frecuencia con la cual puede ponerse en funcionamiento un transductor puede ser variable automáticamente. Mediante la variabilidad o la adaptación de la alta frecuencia, con la que se pone en funcionamiento el transductor de envío, la onda ultrasónica producida en el objeto, así como también la onda longitudinal producida en el medio pueden orientarse de forma óptima al transductor de recepción. De este modo se pueden equilibrar de forma electrónica las tolerancias en la distancia del transductor de envío del transductor de recepción o posicionamientos inexactos, que en el estado de la técnica tienen que ser ajustados posteriormente de forma complicada y manual. Esto resulta de la dependencia de ángulo, usada para la concepción del transductor, de las ondas transversales producidas, especialmente, de las ondas "bulk shear" (ondas de corte de volumen) de la frecuencia usada. También se pueden equilibrar de este modo las variaciones de la propagación de las ondas a causa de modificaciones de presión en el tubo o modificaciones de temperatura. La exactitud de medición y la adaptación del sistema se mejoran notablemente frente al estado de la técnica. La alta frecuencia, con la cual se puede poner en funcionamiento el transductor de envío, es variable de tal modo para la optimización de la señal recibida, que una onda longitudinal inducida en el medio se guía de forma optimizada en dirección del transductor de recepción. Especialmente, mediante una variación de la frecuencia se puede ajustar el ángulo φ_{21} de la onda ultrasónica inducida frente a una perpendicular sobre la superficie del objeto, y con ello, también del ángulo de acoplamiento en la transición del objeto-medio. Esta perpendicular es normal, especialmente, en objetos conformados como tubos rectangulares, es decir, es perpendicular sobre una superficie exterior del tubo, y la superficie es paralela a una dirección axial determinable, especialmente, por la dirección principal de un flujo del medio.

(0014) De forma ventajosa, siempre que se cumpla la condición simplificadora de que las ondas se extiendan en forma de rayos para la creación de ondas de corte de volumen, es válido:

$$\sin(\varphi_{21}) = c_{\text{wall}} / (f \cdot D),$$

c_{wall} = velocidad del sonido en el objeto,

f = alta frecuencia del transductor de envío,

D = una distancia que resulta de la configuración del transductor de circuitos que se encuentran contiguos con idéntica dirección de la corriente.

(0015) Preferiblemente, no sólo el transductor de envío se puede poner en funcionamiento prescindiendo de un acoplamiento acústico con el objeto. Más bien, esto es válido en otra configuración de la invención también para el transductor de recepción para la detección de la señal ultrasónica. El mismo está conformado especialmente también como bobina de inducción de alta frecuencia. Según un ejemplo de ejecución, el transductor de recepción, así como el transductor de recepción pueden enviar y recibir. De este modo, se pueden llevar a cabo, por ejemplo, métodos conocidos para la medición de las diferencias de duración del recorrido, que se usan para la valoración de las velocidades del flujo o los índices de flujo, en el dispositivo conforme a la invención mediante solamente dos transductores. También es posible el uso de sólo un transductor.

(0016) Ventajosamente, el dispositivo conforme a la invención funciona a modo de pulsado o de ráfagas. De este modo, mediante un pulsado o ráfaga de alta frecuencia, el transductor de envío funciona para un número pequeño de periodos, preferiblemente menos de 50 periodos, con la alta frecuencia, tras lo cual se expande una onda ultrasónica en el objeto. Especialmente, el transductor de envío está concebido para crear ondas de Lamb u ondas de corte de volumen, que respectivamente crean las ondas longitudinales deseadas en la transición objeto-medio. La onda longitudinal crea, a su vez, al llegar a la pared interior opuesta del objeto, en el mismo una onda ultrasónica, que puede ser detectada por el transductor de recepción con retraso de tiempo, frente a la onda ultrasónica creada directamente en el objeto y transmitida a la pared del objeto. A causa del retraso de tiempo, se pueden separar las señales de las ondas de manera que se puede medir una señal ultrasónica variada por la velocidad del medio. Mediante la conmutación del transductor de envío y el transductor de recepción en el transductor de recepción y en el transductor de recepción y el recorrido del medio en la dirección contraria pueden

medirse las diferencias de duración del recorrido entre las señales variadas por el medio, lo cual permite finalmente sacar conclusiones sobre la velocidad de flujo y el índice.

(0017) En lugar una conmutación se pueden usar también dos bobinas adicionales, de las cuales una está dispuesta como transductor de recepción cerca al transductor de envío y el otro como transductor de envío cerca del transductor de recepción. Especialmente, los circuitos de las bobinas dispuestos uno junto a otro pueden estar dispuestos uno junto a otro y/o uno sobre otro. En una medición con transductores conmutados, la frecuencia de conmutación está en un ámbito de 10 Hz hasta 200 Hz, preferiblemente en un ámbito entre 50 Hz y 100 Hz. Mediante la multitud de mediciones se puede alcanzar una exactitud de medición muy alta.

(0018) En otra configuración de la invención, se conforma un caudalímetro conforme a la invención adicionalmente a la creación de un campo magnético estático o cuasiestático, que se puede orientar longitudinalmente respecto a una dirección axial del objeto o perpendicularmente respecto a la misma. En este caso, el caudalímetro puede presentar un imán permanente y/o un electroimán. Mientras que el uso de un imán permanente es técnicamente menos complicado, se puede utilizar un electroimán, especialmente, para el ajuste de la amplitud automático. Un electroimán puede producirse, por ejemplo, mediante la envoltura del objeto, por ejemplo, una envoltura en forma de espiral de un tubo o mediante piezas polares envueltas con conductos con aplicación de corriente de material ferromagnético.

(0019) Preferiblemente, para la optimización de la señal de medición, el circuito de la bobina de alta frecuencia se ha de orientar verticalmente respecto al eje longitudinal y en dirección del perímetro del objeto, para el uso conforme al uso previsto, es decir, la configuración del caudalímetro acústico para, por ejemplo, los tubos están orientados de modo que el circuito o también los circuitos de la bobina de alta frecuencia, en general, se prolongan verticalmente respecto al eje longitudinal del objeto. Mediante ello, una onda longitudinal acoplada en el medio, en un oleoducto o tubo redondo en el corte transversal cruza siempre su eje central longitudinal (eje de oleoducto). Para circuitos de bobinas de alta frecuencia que forman meandros previstas conforme a la invención, esto significa que sus secciones más largas están orientadas verticalmente respecto al eje longitudinal, y se puede prescindir de las transiciones estrechas entre circuitos que van y vienen. Especialmente, los circuitos se pueden conformar como bobinados, y con las bobinas de inducción se puede tratar de bobinas "clásicas", arrolladas.

(0020) Preferiblemente, un transductor del dispositivo conforme a la invención, que actúa como transductor de envío, está concebido para la creación de ondas de volumen, especialmente, ondas de corte de volumen. Para materiales no ferromagnéticos, sin embargo, conductores de electricidad, los transductores están concebidos, a su vez, para la creación de ondas longitudinales de volumen (en inglés: "bulk").

(0021) Una penetración de ondas ultrasónicas especialmente homogénea se consigue cuando el transductor de envío está concebido para la creación de ondas de Lamb de n -ésimo orden, y n es un valor entero y ≥ 0 . El uso de modos en cero o mayores, especialmente, de modos del orden $n = 0, 1$ ó 2 ha demostrado ser adecuado, especialmente, para medidas de flujo de medios acuosos, aceitosos y gaseosos y conveniente para una conformación clara de las ondas longitudinales. A través del ajuste de la frecuencia del transductor, se pueden ajustar los modos óptimos deseados.

(0022) Para objetos más pequeños, especialmente, en forma de tubo, con diámetros, preferiblemente, menores que 5 cm. se pueden concebir los transductores, adecuadamente, para la creación de ondas guiadas, en forma de ondas de flexión (en inglés: "Flexural Waves").

(0023) Bajo el concepto de la concepción del transductor se entiende, especialmente, su frecuencia a ser ajustada y la disposición del campo magnético estático (o cuasiestático) y la disposición del circuito o los circuitos. El ajuste de la alta frecuencia del transductor para la creación de las ondas de Lamb o las ondas de corte se lleva a cabo, especialmente, dependiendo del espesor de la pared del objeto en el cual se ha de crear la onda ultrasónica.

(0024) Un caudalímetro acústico puede presentar, en general, junto con el transductor de envío y el transductor de recepción un dispositivo para la magnetización del objeto como se ha descrito previamente, una electrónica para la excitación y una electrónica de recepción, incluida una valoración de la señal. El transductor de envío y de recepción pueden realizarse también mediante una única bobina de inducción de alta frecuencia. Igualmente, el caudalímetro puede presentar interfaces para la conexión de aparatos de red individuales, ordenadores u otras unidades de grabación o de pantallas.

(0025) Ventajosamente, la bobina de alta frecuencia se puede hacer funcionar en un ámbito de frecuencia de 20 kHz hasta 50 MHz, preferiblemente, entre 50 kHz y 3 MHz, para la creación de la onda ultrasónica. Especialmente, para espesores de pared menores a 1 mm son ventajosas las frecuencias entre 3 y 50 MHz, mientras que son ventajosas frecuencias entre 20 kHz y 3 MHz para los espesores de pared convencionales de 1 mm hasta 10 mm. En este ámbito, para una multitud de materiales de oleoductos ferromagnéticos o con contenido de acero es posible la excitación de las ondas ultrasónicas, especialmente, en espesores de campos magnéticos en un ámbito de 5 hasta 20 kA/m.

(0026) Para la creación mejorada de una onda ultrasónica en el objeto, en otra configuración de la invención, el lado que se dirige hacia el objeto del transductor de envío y/o recepción está conformado de forma curvada, de manera que éste se puede aproximar, por ejemplo, completamente o en una distancia mínima, que se mantiene igual a una pared exterior del tubo o a su revestimiento previsto con una curvatura. El objetivo en este caso, con la colocación junto a o la disposición cerca de un objeto, es lograr una orientación del lado del transductor paralela, al menos en general, a su superficie, y con ello, de los circuitos de un transductor que se prolongan, normalmente, paralelos al lado.

(0027) El transductor de envío y de recepción, en una forma de ejecución mejorada, pueden estar conformados para la colocación en el tubo y/o incluso para envolver el tubo. En dicho caso, por ejemplo, los tubos para la conformación de un caudalímetro estacionario pueden ser envueltos o contenidos. En una envoltura completa, las ondas ultrasónicas pueden crearse a lo largo de todo el perímetro del tubo, con lo cual las ondas longitudinales se pueden acoplar por todo el perímetro en el medio y todo el corte transversal del conducto del tubo puede ser penetrado por ondas ultrasónicas. Habida cuenta que mediante el acoplamiento de todos los lados y la propagación de las ondas longitudinales hacia el lado opuesto se cubre doblemente la sección transversal del conducto de tubo libre interior, puede ser suficiente una media envoltura del tubo con una bobina de inducción de alta frecuencia para la cobertura del espacio interior del conducto del tubo completo.

(0028) Preferiblemente, el transductor de envío y/o de recepción están conformados mediante circuitos a ser envueltos alrededor del objeto o a ser colocados alrededor, lo que posibilita una construcción económica y sencilla del dispositivo, y al mismo tiempo, una cobertura completa de un perímetro del objeto. Mediante esto, de forma distinta que, en el estado de la técnica, se hace posible una cobertura de toda la sección transversal del conducto del tubo interior libre. La curvatura de los circuitos se puede variar para aumentar las posibilidades de ajuste, preferentemente. Además, mediante una envoltura completa, y especialmente, múltiple de un objeto se minimiza la influencia de ondas de los bordes que perjudican a causa de secciones de transición cortas de los circuitos que forman meandros. Una envoltura de un objeto de 360° libre del efecto de los bordes mediante el circuito conlleva que se puedan evitar señales de interferencias.

(0029) La capacidad de ajuste de un caudalímetro conforme a la invención aumenta además cuando el transductor de envío y recepción están conformados, al menos, por partes de forma flexible, es decir, por ejemplo, plegable, para poder ser adaptables a distintos caudalímetros exteriores del objeto y formas de objetos. Preferiblemente, se trata en este caso de una película provista de un conducto eléctrico o un cable plano que, al menos parcialmente, se puede envolver alrededor, por ejemplo, de un tubo. Un dispositivo de fijación del caudalímetro puede presentar, con esta finalidad, dos brazos giratorios el uno opuesto al otro, que acogen los respectivos lados de la película o del cable plano. Se pueden usar, especialmente, cables planos conocidos y a menudo económicos que, en comparación con las películas, en general, son más resistentes a las temperaturas elevadas.

(0030) Los circuitos de una bobina de inducción de alta frecuencia, por ejemplo, en una película pueden estar configurados formando meandros. También pueden envolverse alrededor del tubo en forma de espiral. En forma de meandros quiere decir, en este caso, una configuración a través de la cual las direcciones de corriente de las secciones de circuito respectivamente contiguas, y especialmente, paralelas (en dirección del perímetro del objeto a ser controlado) están dirigidas de forma opuesta. Por ejemplo, con el circuito o los circuitos se trata de un cable plano de múltiples hilos, cuyos conductores están unidos entre sí por el lado del extremo de manera que las direcciones de corriente de circuitos contiguos se cambian.

(0031) Un caudalímetro conforme a la invención está provisto, especialmente, de dos pares de transductores de envío y recepción, de manera que sin una conmutación de un transductor se puede conmutar del transductor de envío al de recepción entre los pares. Para ello, los circuitos del transductor de los respectivos pares están dispuestos preferiblemente paralelamente cercanos unos a otros, y especialmente, colocados unos sobre otros o unos junto a otros.

(0032) Para la cobertura completa del espacio interior del tubo o del objeto, a través del cual fluye el medio, es suficiente, como se describió previamente, cuando el transductor de envío y de recepción se pueden posicionar en el lado opuesto de un tubo y respectivamente cubren 180° del perímetro exterior del tubo. Mediante esto se hace posible una cobertura completa de la superficie de sección transversal libre en el tubo.

(0033) Para el posicionamiento sencillo del transductor de envío y recepción, los mismos pueden disponer de brazos giratorios unidos entre sí, a través de los cuales se puede ocasionar una sujeción al objeto.

(0034) Ventajosamente, en el uso de un caudalímetro que cubre todo el espacio interior libre del tubo, el dispositivo de valoración está configurado para la detección y/o la determinación del tamaño de burbujas en el fluido, es decir, especialmente, de burbujas de gas en un medio líquido. De este modo, por ejemplo, la supervisión y la valoración de la amplitud de la señal pueden determinar no sólo la presencia de burbujas, sino también el tamaño de las burbujas que se pueden encontrar como debilitaciones de la amplitud en la señal de valoración.

(0035) En una configuración preferible del caudalímetro para la creación de ondas de Lamb, el mismo está conformado complementariamente a la medición del espesor de pared (preferiblemente mediante la valoración de

las curvas de dispersión) y/o de la presión del medio en base a la señal ultrasónica, de forma que la señal de flujo recibida pueda ser optimizada automáticamente al existir condiciones supletorias que se modifican. Para la medición de la presión se puede usar, especialmente, la dependencia de la velocidad del sonido de la presión. Con ayuda del ajuste de frecuencia se pueden regular posteriormente las variaciones de velocidad del sonido. Bajo la condición de otros parámetros constantes, como la temperatura, la frecuencia ajustada es una medida para la presión. A causa de la configuración conforme a la invención que hace posible una distancia mínima de pocos milímetros y el acoplamiento mecánico, que va asociado, del caudalímetro conforme a la invención, del objeto, pueden llevarse a cabo mediciones de un objeto caliente de más de 180°C, preferiblemente, uno de más de 350°C. Además, el transductor de envío y de recepción están conformados de forma resistente al calor gracias a correspondientes materiales, de tal modo que están conformados para la medición, preferiblemente sin contacto del flujo en un objeto caliente de más de 180°, preferiblemente, en un objeto caliente de más de 350°.

(0036) Mientras que un dispositivo conforme a la invención es preferiblemente soportable por una única persona usuaria, y con ello, no es más pesado de 50 kg, preferiblemente, no más pesado de 25 kg, el caudalímetro en otra configuración de la invención puede estar construido de forma modular. Bajo este concepto, se entiende un caudalímetro, o bien, un aparato de medición cuyo transductor de envío y/o recepción se pueden posicionar de forma duradera en un objeto y que para la medición del flujo se pueden unir, especialmente, con una unidad de control y valoración portables por el personal usuario, y adicionalmente, el caudalímetro puede presentar un dispositivo para la creación de un campo magnético estático o cuasiestático.

(0037) De este modo, por ejemplo, los circuitos pueden permanecer en circuitos envueltos en tubos o alrededor de tubos y la complejidad de una medición rápida se reduce notablemente en una multitud de tubos ya envueltos, frente al estado de la técnica.

(0038) Otras ventajas y detalles de la invención se pueden extraer de la siguiente descripción de las figuras.

(0039) En las figuras se muestran de forma esquemática:

Fig. 1 una representación en corte de un caudalímetro según el estado de la técnica,

Fig. 2 una parte de un objeto conforme a la invención en una vista según la Fig. 1,

Fig. 3 el uso del objeto conforme a la invención en un objeto revestido,

Fig. 4a, b una parte de otro objeto conforme a la invención,

Fig. 5 una representación de otro caso de utilización del objeto conforme a la invención,

Fig. 6 otro objeto conforme a la invención en una vista parcial,

Fig. 7 otro objeto conforme a la invención (en una vista parcial),

Fig. 8 hasta 12 posibilidades de configuración del transductor de envío o recepción de un objeto conforme a la invención,

Fig. 13 hasta 16 configuraciones de distintos objetos conforme a la invención, que se diferencian respecto a la creación de campos magnéticos

Fig. 17 una representación del principio del objeto conforme a la invención con un ajuste automático,

Fig. 18 un diagrama de función para el funcionamiento del objeto conforme a la invención según la Fig. 17,

Fig. 19 y 20 vistas en conjunto de objetos individuales conforme a la invención,

Fig. 21 un diagrama de función para la ilustración de un método conforme a la invención,

Fig. 22 un objeto conforme a la invención en otra configuración.

(0040) Los elementos que actúan del mismo modo o similares – siempre que sea adecuado – se proveen de idénticas cifras de referencia. Las características técnicas individuales de los ejemplos de ejecución descritos a continuación pueden conducir, junto con las características de los ejemplos de ejecución previamente descritos, a otras configuraciones conforme a la invención.

(0041) La Fig. 1 muestra una configuración conocida por el estado de la técnica conocido para la medición del flujo (F) de un medio, especialmente, de un gas o un líquido, en un tubo (1) representado de forma cortada. Un transductor ultrasónico (3) piezoeléctrico puede actuar como un transductor ultrasónico (3) piezoeléctrico tanto como transductor de envío como también como transductor de recepción. Partiendo, por ejemplo, del transductor

de envío (2) se acopla una señal ultrasónica a través de un acoplador acústico (4) en forma de cuña bajo un ángulo ϕ_1 (medido frente a una perpendicular (5) respecto a la superficie del tubo) en la pared del tubo (6). Bajo la suposición de que la onda ultrasónica se propague en la pared del tubo (6) en forma de rayos, la onda llega al lado interior del tubo (7) y se acopla allí bajo un ángulo de ϕ_3 en el medio. En el mismo, la onda de sonido acoplada como onda longitudinal (8) varía por el flujo del medio y llega al lado interior inferior en la Figura de la pared del tubo. Respecto a la dirección del perímetro de la pared interior del tubo, se trata de un lado de la pared interior del tubo opuesto al lugar de acoplamiento, que está desplazado axialmente a causa de la proporción de vector de onda que se dirige hacia la dirección (F). En este lado inferior se lleva a cabo, a su vez, un acoplamiento en la pared del tubo (6) hacia otro acoplador acústico (9). A través del mismo pasa la señal ultrasónica influenciada por el medio hacia el transductor (3) que actúa, en este caso, como transductor de recepción. En otro modo de operación, el transductor de recepción (3) actúa entonces en el siguiente paso como transductor de envío y emite una onda ultrasónica a través del medio de acoplamiento (9) en dirección del transductor (2) que actúa ahora como transductor de recepción. Como es visible, para una construcción que funcione con esta configuración, depende de la distancia (L) de las transiciones de la señal ultrasónica entre el medio de acoplamiento (4), o bien, el medio de acoplamiento (9) y la pared del tubo (6). Variaciones mínimas en la distancia de ambos acopladores acústicos entre sí conllevan un debilitamiento o una pérdida completa de la señal y así producen un resultado de medición peor o incluso inexistente.

(0042) En la Fig. 2 se muestra un caudalímetro (en partes) acústico conforme a la invención que junto a un primer transductor (11) que actúa como transductor de envío o recepción muestra otro transductor (12) que actúa como transductor de envío o recepción. Ambos transductores (11 y 12) están conformados como bobinas de inducción de alta frecuencia. Ambas bobinas de inducción de alta frecuencia (11 y 12) pueden inducir corrientes en remolino en una zona de la pared del tubo (6) cercana a la superficie (13) exterior. Estas corrientes en remolino interactúan con un campo magnético estático, creado por dos imanes permanentes (14 y 15) a modo de piezas polares en la pared del tubo (6), en el ejemplo de ejecución de la Fig. 2. Mediante el efecto recíproco surgen en la pared del tubo ondas ultrasónicas dirigidas. Semejante onda ultrasónica (16) está conformada, por ejemplo, como onda de corte de volumen y se acopla en el medio que fluye en dirección del flujo (F). En el lado opuesto de la pared interior del tubo se acopla de nuevo la onda longitudinal en la pared interior del tubo y allí puede ser detectada entonces por la bobina de inducción de alta frecuencia (12) que actúa como transductor de recepción. El dispositivo puede ponerse en funcionamiento con distintas configuraciones para las bobinas de inducción de alta frecuencia (11 y 12), así como también con distintas configuraciones respecto a los imanes (14 y 15), lo cual se describe anteriormente y a continuación.

(0043) Como ya se indicó en la Fig. 2, el uso de un medio de acoplamiento no es necesario. Gracias a ello, la instalación del transductor en la cercanía del tubo o también en el tubo se simplifica. Mediante la distancia posible o el uso de capas aislantes del calor entre el transductor de envío y el de recepción y el tubo (6) también se puede medir en tubos muy calientes.

(0044) Una representación esquemática de una construcción de medición para un tubo provisto de un revestimiento (17) está representada en la Fig. 3. El revestimiento no tiene que ser eliminado para crear la onda ultrasónica en el tubo (6), tal y como es necesario en el estado de la técnica. Con el mismo se puede realizar la medición del flujo a través de tubos revestidos de forma sencilla.

(0045) El transductor de envío y el de recepción pueden estar conformados como transductores flexibles, es decir, mediante un conductor eléctrico, que según la Fig. 4a puede estar envuelto, por ejemplo, alrededor de un tubo revestido. Según la Fig. 4a, un caudalímetro conforme a la invención presenta dos transductores de envío o de recepción que comprenden circuitos (18 y 19) que a causa de su envoltura completa del tubo cubren doblemente la sección transversal del conducto del tubo libre. Así se pueden acoplar en el tubo, a lo largo de todo el perímetro (compare Fig. 4b), desde el lado interior del tubo, ondas en el medio, que se extienden hacia el lado opuesto. En la Fig. 4b ello está visualizado mediante, en total, cuatro flechas dobles (8'). La cobertura completa aumenta la exactitud de medición frente a disposiciones de medición discontinuas, discretas, como se conocen en el estado de la técnica, y es adecuada, especialmente, para flujos turbulentos. Además, se pueden llevar a cabo, a causa de la cobertura completa, una detección fiable e incluso un cálculo del tamaño de las burbujas de gas.

(0046) Ambos transductores (18 y 19) son solapados en la configuración según la Fig. 4a por dos imanes sobre su lado alejado del tubo, que provocan en toda la sección transversal del conducto del tubo una magnetización. Los imanes pueden envolver el tubo también por todo el perímetro. En secciones transversales de tubo mayores también pueden disponerse varios imanes en dirección del perímetro alrededor del tubo.

(0047) La Fig. 5 aclara la ventaja conforme a la invención de realizar una medición del flujo fiable en tubos (6) calientes a más de 180°C. Para esto, la distancia (a) entre la superficie (13) exterior del tubo y el transductor o el caudalímetro es, preferiblemente, de entre 0,1 cm y 5 cm, especialmente, entre 0,1 cm y 1 cm.

(0048) Mientras que en las Figuras 2 hasta 5 se evaluó la diferencia de tiempo entre las ondas ultrasónicas que se extienden a lo largo de rutas opuestas en dirección, se muestra en la Fig. 6 una configuración de otro dispositivo conforme a la invención, en el que se valora según el principio Doppler. En este caso, el dispositivo está provisto solamente de un transductor en forma de una bobina de inducción de alta frecuencia que actúa tanto como transductor de envío como también como transductor de recepción. Este transductor, junto con la electrónica de

valoración, está en condiciones de medir las modificaciones de frecuencia (efecto Doppler) que resultan a causa de partículas que se mueven, de una onda ultrasónica reflectada. Especialmente para flujos turbulentos se adecúa un método de medición y una configuración según la Fig. 7. De este modo, especialmente en flujos turbulentos se parte del hecho de que sus estructuras turbulentas no cambien dentro de una determinada distancia (es la denominada longitud de correlación). Respectivamente, un transductor de envío y un transductor de recepción están dispuestos de forma distanciada en dirección longitudinal de un objeto, aquí igualmente un tubo. Por ambos pares de transductores (11.1, 12.1 y 11.2 y 12.2) se mide la signatura del flujo turbulento y se determina un retraso de tiempo a través de una valoración de señal de correlación cruzada. Este retraso de tiempo es una medida para la velocidad de flujo (F), o bien, para el índice de transporte del medio.

(0049) Las Fig. 8 hasta 12 muestran una serie de distintas envolturas o configuraciones de la bobina o bobinas de alta frecuencia. Ventajosamente, éstas están fabricadas de un conductor flexible y se pueden colocar, por ejemplo, envueltas en una película flexible en el perímetro exterior del objeto. Una bobina de inducción de alta frecuencia flexible tiene la ventaja de que se puede adaptar a una multitud de distintos diámetros de tubo.

(0050) Un transductor puede estar configurado para cubrir todo el perímetro de un tubo, como se muestra, por ejemplo, en la Fig. 11. En este caso, los devanados individuales o secciones de circuito de un circuito (25) de la bobina de alta frecuencia están colocadas unas junto a otras en forma de meandro, de manera que resultan las direcciones de corriente indicadas por encima del tubo. Un transductor similar se muestra en la Fig. 8, y éste transductor, sin embargo, sólo se puede extender por un perímetro parcial del tubo, similar a aquél de la Fig. 10. De forma distinta que en aquél de la Fig. 8, el transductor está adaptado a la curvatura del tubo en la Fig. 10. En la Fig. 8 se trata de un transductor que no está adaptado a los tubos en forma circular en la sección transversal.

(0051) Para la construcción de un caudalímetro compacto puede servir también una superposición de dos circuitos (26 y 27) (Fig. 9). El transductor de envío y el de recepción se pueden fijar en una zona del tubo prácticamente idéntica con secciones de circuito paralelas entre sí y forman un par de transductor de envío y recepción. Un caudalímetro conforme a la invención presenta preferiblemente dos transductores de envío y recepción idénticos, y la conformación de los circuitos no tiene que corresponderse necesariamente a aquélla de la Fig. 9. Más bien, se puede tratar, en este caso, también de circuitos mostrados en las otras Figuras.

(0052) Mediante una forma de meandro del circuito, en general, se causa una modificación de la dirección de la corriente de las corrientes en remolino de Eddy en dirección axial, lo cual conlleva una formación de una onda ultrasónica acoplada bajo un ángulo en el tubo, y con ello, parcialmente en dirección axial del mismo. Las secciones punteadas muestran en las Figuras el transcurso de los circuitos sobre el lado del objeto no visible. En lugar de un transcurso del circuito en forma de meandro, también se puede usar un campo magnético estático o cuasiestático que varía periódicamente, que se crea, por ejemplo, mediante imanes permanentes con orientación N-S y S-N colocados entre sí de forma alternada.

(0053) Conforme a la Fig. 12, un conductor (28) individual está envuelto alrededor del tubo en forma de espiral y no de meandro, y la distancia del bobinado, y con ello, la distancia de las secciones de circuito individuales que están unas junto a otras es ventajosamente tan grande que entre las zonas de corriente de Eddy con corrientes de Eddy excitadas por los bobinados individuales se forman amplitudes menores.

(0054) En las Fig. 13 hasta Fig. 16 se muestran conformaciones de caudalímetros conforme a la invención (representados esquemáticamente, y a su vez, parcialmente) con distintas configuraciones respecto a la creación de los campos magnéticos. El mismo está conformado, o bien, perpendicular respecto a la superficie del tubo, o bien axialmente respecto al objeto.

(0055) En el ejemplo de ejecución de la Fig. 13, un transductor de envío (11) está en un campo magnético (B) creado por un imán permanente, que está orientado en dirección longitudinal del eje del tubo (1). Alternativamente a esto se muestra en la Fig. 14 una configuración de un caudalímetro conforme a la invención en el que el campo magnético (B) colocado está orientado de forma perpendicular respecto a la superficie (13) del tubo (1). En este caso, los polos sur de ambos imanes permanentes (20 y 21) se dirigen hacia la superficie (13) exterior. Entre los imanes permanentes (20 y 21) y la superficie del tubo (13) están dispuestos el transductor de envío y el de recepción (11 y 12). Tanto una orientación paralela respecto al tubo, como también una orientación vertical del campo magnético pueden ser creadas también por un electroimán del caudalímetro.

(0056) La Fig. 15 muestra una orientación, en la cual se crea un campo magnético orientado en dirección longitudinal del tubo mediante dos electroimanes (22 y 23). Correspondientemente, el campo magnético se conforma en la extensión longitudinal de los electroimanes.

(0057) Otra configuración de un electroimán se muestra en la Fig. 16. En este caso, se trata de un conductor (24) enrollable alrededor, por ejemplo, de un tubo (1), al que correspondientemente se le aplica una corriente continua o una corriente alterna de baja frecuencia. Las bobinas de inducción de alta frecuencia pueden estar dispuestas en semejante caso, como en la Fig. 15, entre el tubo y el imán y estar enmarcadas entre los polos del imán. También pueden estar sencillamente enrolladas por los bobinados del conductor (24) visibles en la Fig. 16.

(0058) Conforme a la invención, se puede conformar un caudalímetro acústico, de manera que las distancias (L)

que varían entre los puntos de acoplamiento en un objeto, por ejemplo, el tubo (1) mostrado en la Fig. 17, pueden ser equilibradas automáticamente y electrónicamente.

(0059) Un posicionamiento exacto del transductor no es necesario, la adaptación se lleva a cabo mediante la adaptación de la frecuencia, con la cual se hace funcionar el transductor. La Fig. 17 muestra circuitos individuales de las ondas ultrasónicas para dos frecuencias distintas (f_1 y f_2). La onda creada con una frecuencia (f_1) se acopla bajo un ángulo ϕ_{21} en la pared del tubo (6) y después bajo un ángulo ϕ_{31} en el medio. Correspondientemente, la onda ultrasónica creada por la frecuencia (f_2) se caracteriza por un ángulo ϕ_{22} y ϕ_{32} . Mediante la modificación de la frecuencia, la orientación del rayo se puede llevar a cabo en el transductor de recepción (12) para la recepción optimizada.

(0060) Mediante la adaptación de la frecuencia que se puede producir, según el esquema de la Fig. 18, también automáticamente, se pueden equilibrar también las variaciones de la velocidad del sonido en el medio, por ejemplo, a causa de variaciones de temperatura o variaciones de presión. Adicionalmente, se puede crear una multitud de ondas longitudinales desplazadas en dirección axial en el tubo, mediante la excitación adecuada de ondas de Lamb, de manera que aumenta la probabilidad de obtener una señal de recepción lo suficientemente exacta en un receptor desplazado axialmente.

(0061) Mediante un bucle de retroalimentación llevado a cabo durante las mediciones de forma alternada, según la Fig. 18, la intensidad de la señal puede ser adaptada y, dado el caso, mejorada. Mediante esto se consigue una señal óptima (en inglés: "auto-alignment").

(0062) A continuación, se describe un método para adaptar la señal. El transductor de envío (11) se pone en funcionamiento a través de un generador de ráfagas, o bien, un emisor de frecuencia o un reforzador. La señal recibida en el transductor de recepción (12) se usa para determinar la velocidad del flujo. En un bucle de retroalimentación entre las verdaderas mediciones o como parte de ellas, de tiempo en tiempo, se pone en funcionamiento, por ejemplo, un "barrido de frecuencia" ("Frequenz-Sweep"). De la multitud de frecuencias emitidas entonces por el transductor de envío, se busca aquella que conduce a una señal de recepción óptima.

(0063) Una construcción parcial de un caudalímetro conforme a la invención se muestra en las Fig. 19 y 20. No están representados los creadores de campos magnéticos. En la Fig. 19 hay conformados dos dispositivos fijadores (30 y 31) de un caudalímetro, de tal modo que se pueden colocar completamente alrededor del tubo (1). En este caso, se trata preferiblemente de abrazaderas provistas de perímetros variables. En el tubo (1) se crea entonces mediante el transductor (35 y 36) una onda de sonido, que está indicada de forma punteada (32). Los imanes permanentes correspondientes se encuentran en los ejemplos de ejecución de las Fig. 19 y 20 dentro de la carcasa del transductor (35 y 36).

(0064) La señal creada por el transductor de envío (35) se recibe por el transductor de recepción (36) y se transmite a una electrónica (33), en la que se lleva a cabo la valoración de la señal y desde donde la señal puede ser alimentada en una red. Igualmente, un caudalímetro conforme a la invención puede presentar una unidad de pantalla para mostrar las informaciones. Para el caso de usos de altas temperaturas en un ámbito de más de 180°C, preferiblemente de más de 300°C, el transductor de envío y recepción (35 y 36) está montado mediante dispositivos fijadores (30 y 31) sobre un sistema de fijación adicional (34). Mediante ello, los transductores (35, 36) están distanciados del tubo y se mantienen mecánicamente desacoplados del mismo. Por lo demás, la construcción es como en la Fig. 19.

(0065) Un diagrama de función completo del proceso del método está representado en la Fig. 21. En este caso, para la detección de un índice de flujo a través de un emisor de frecuencia y un reforzador se da una señal en el transductor de envío que crea una onda ultrasónica con la configuración previamente descrita. Con la configuración representada se trata de dos pares de transductores de envío y recepción envueltos paralelamente y completamente alrededor del tubo. Las señales recibidas por los dos transductores de recepción se transmiten a un reforzador previo. Desde el reforzador previo se transmiten las señales a un receptor de frecuencia de superposición. En un integrador postconectado se refuerzan las señales detectadas por el detector de señales, por ejemplo, un demodulador de amplitud en cuadratura y se usan para el cálculo de la amplitud y el cálculo de las fases. Del cálculo de las fases de las ondas ultrasónicas resulta entonces la velocidad del flujo, mientras que de la valoración de la amplitud puede llevarse a cabo una determinación de burbujas en el líquido.

(0066) En la Fig. 22 se muestra un caudalímetro conforme a la invención en otra configuración, en la que el transductor de envío está concebido para la creación de las ondas de Lamb (40). Estas ondas de presión / corte se propagan como onda guiada en el objeto, lo cual conlleva una transmisión ultrasónica muy homogénea del espacio interior con una multitud de ondas longitudinales (41). Mediante la multitud de ondas longitudinales, semejante caudalímetro conforme a la invención es especialmente insensible en relación con la distancia del transductor de envío respecto al de recepción. La concepción del transductor se lleva a cabo en el ejemplo de la Fig. 22, especialmente, dependiendo del espesor de pared (b) del objeto, es decir, la alta frecuencia del transductor se adapta dependiendo del espesor de pared (b) del objeto.

REIVINDICACIONES

1. Caudalímetro acústico para la determinación no invasiva del flujo o del índice de flujo en objetos por los que fluyen medios, que conducen electricidad, especialmente, de tubos o oleoductos, con un transductor de envío para la creación de, al menos, una onda ultrasónica en el objeto que se acopla en el medio en el lado interior del objeto dirigido hacia el medio como onda longitudinal, y con un transductor de recepción para la detección de una señal ultrasónica en el objeto, y la señal ultrasónica resulta, al menos parcialmente, por la onda longitudinal, y el transductor de envío como bobina de inducción de alta frecuencia está conformado prescindiendo de un acoplamiento acústico del transductor de envío con la superficie del objeto para crear un campo magnético variable en una zona cercana a la superficie del objeto, especialmente, metálico y se produce la onda ultrasónica mediante efecto recíproco del campo magnético variable con un campo magnético estático o cuasiestático en esta zona, que se caracteriza por que el caudalímetro acústico está conformado de tal modo que, para la orientación optimizada de una onda longitudinal a ser creada en el medio, la alta frecuencia, con la cual se hace funcionar el transductor de envío, se puede variar automáticamente.
2. Caudalímetro según la reivindicación 1^a, que se caracteriza por que el transductor de recepción conformado, especialmente, como bobina de inducción de alta frecuencia está configurado para la detección de la señal ultrasónica prescindiendo de un acoplamiento acústico con el objeto.
3. Caudalímetro según la reivindicación 1^a ó 2^a, que se caracteriza por una configuración para crear un campo magnético estático o cuasiestático conformado, especialmente, por un imán permanente y/o un electroimán que está orientado longitudinalmente respecto a una dirección axial del objeto o perpendicular respecto a la misma.
4. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que un circuito, especialmente, un bobinado, de la bobina de inducción de alta frecuencia, para el uso previsto, se ha de dirigir verticalmente respecto al eje longitudinal del objeto.
5. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que el transductor de envío está concebido para la creación de ondas de volumen, especialmente, de ondas de corte de volumen.
6. Caudalímetro según una de las reivindicaciones 1^a hasta 4^a, que se caracteriza por que el transductor de envío está concebido para la creación de ondas guiadas (en inglés: "guided Waves"), especialmente, de ondas de Lamb de n-énimo orden, siendo "n" un valor entero y mayor o igual a 0.
7. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que el lado que se dirige hacia el objeto del transductor de envío y/o recepción está conformado de forma curvada.
8. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores para determinar el flujo en un tubo, que se caracteriza por que el transductor de envío y/o recepción están conformados para ser colocados en el tubo y/o para envolver el tubo.
9. Caudalímetro según la reivindicación 8^a, que se caracteriza por que los transductores de envío y recepción presentan circuitos a ser enrollados alrededor del objeto o a ser colocados en el objeto.
10. Caudalímetro según la reivindicación 8^a ó 9^a, que se caracteriza por que los transductores de envío y recepción están conformados, al menos en partes, de forma flexible, para ser adaptables a distintos diámetros exteriores de tubo.
11. Caudalímetro según una de las reivindicaciones 8^a hasta 10^a, que se caracteriza por que los transductores de envío y recepción presentan una película provista de un conductor eléctrico y/o un cable plano que, al menos parcialmente, se pueden enrollar alrededor del tubo.
12. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores con un transmisor (de envío y/o recepción) que presenta un circuito, que se caracteriza por que el circuito está conformado a modo de meandro.
13. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que el transductor de envío y/o recepción está concebido para registrar el flujo en una sección transversal completa del tubo.
14. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por un dispositivo de valoración está conformado para la detección y/o la determinación del tamaño de las burbujas en el fluido.
15. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por una conformación para la medición del espesor de pared y/o de la presión del medio en base a la señal ultrasónica.
16. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que los transductores de envío y recepción comprenden materiales de tal modo resistente al calor que están conformados para la medición,

preferiblemente sin contacto, del flujo en un objeto caliente de más de 180°C, preferiblemente, en un objeto caliente de más de 350°C.

- 5 17. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por una construcción modular de tal modo que los transductores de envío y/o recepción se pueden posicionar de modo duradero en un objeto y se pueden unir para la medición del flujo a una unidad de control y valoración portable, especialmente, por el personal usuario, y el caudalímetro presenta, preferiblemente, un dispositivo para la creación del campo magnético estático.
- 10 18. Caudalímetro según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que la bobina de alta frecuencia se puede hacer funcionar para la creación de la onda ultrasónica en un ámbito de frecuencia de 20 kHz hasta 50 MHz, preferiblemente, de 50 kHz hasta 3 Mhz.

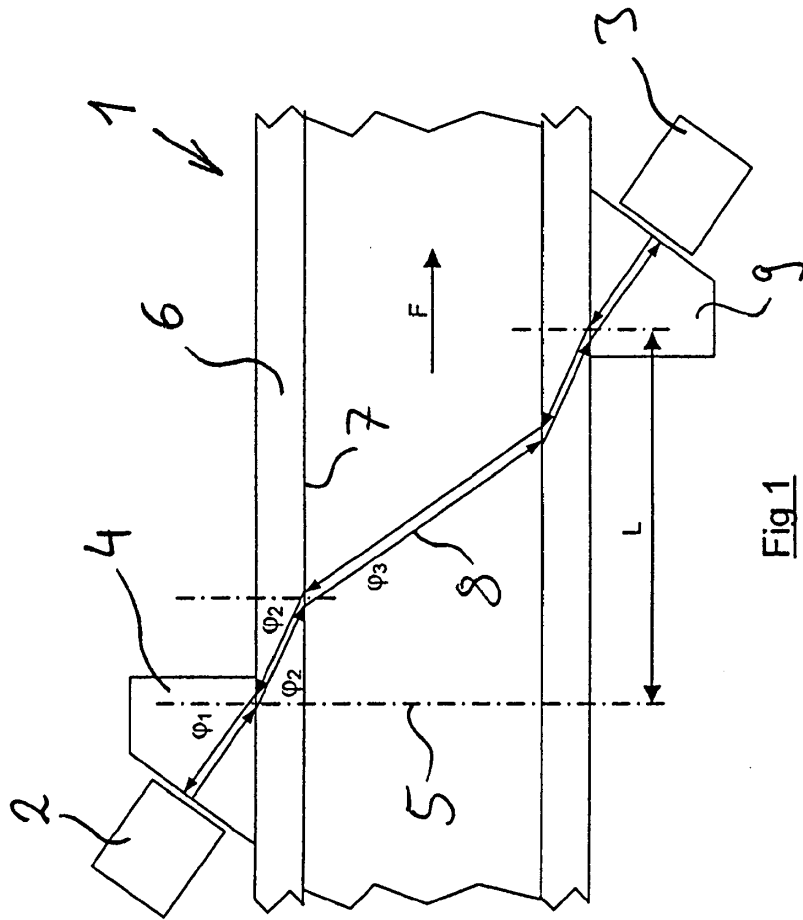


Fig. 1

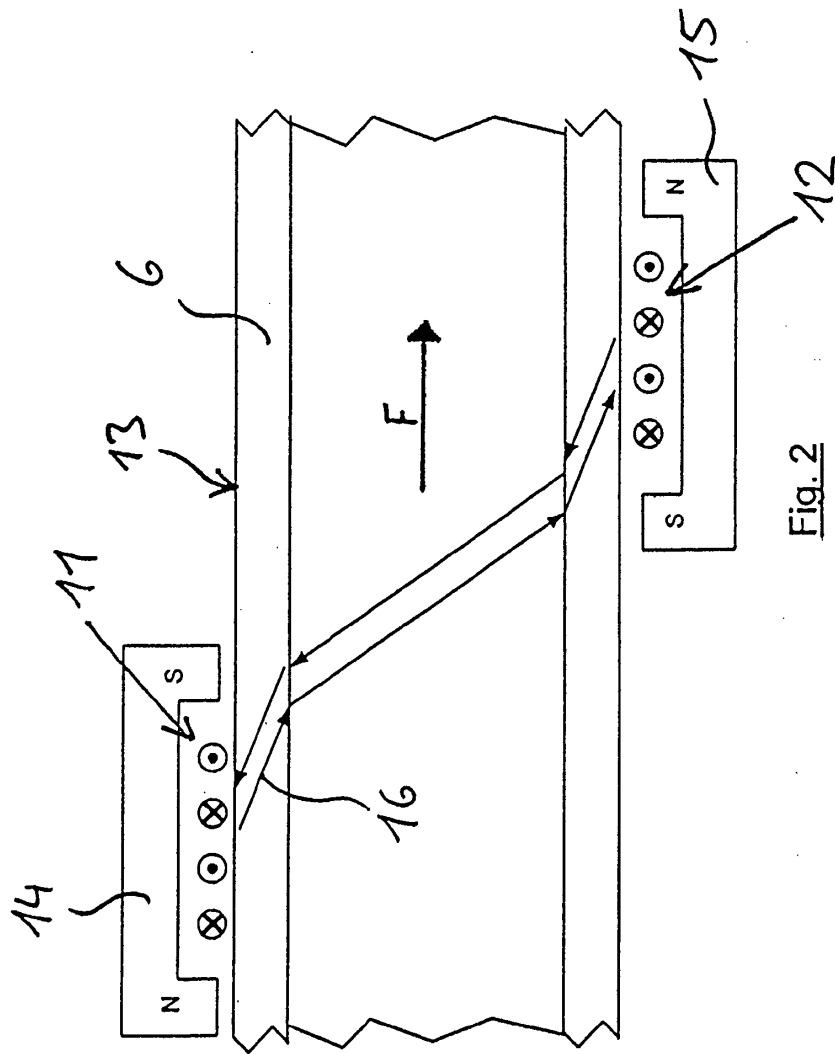


Fig. 2

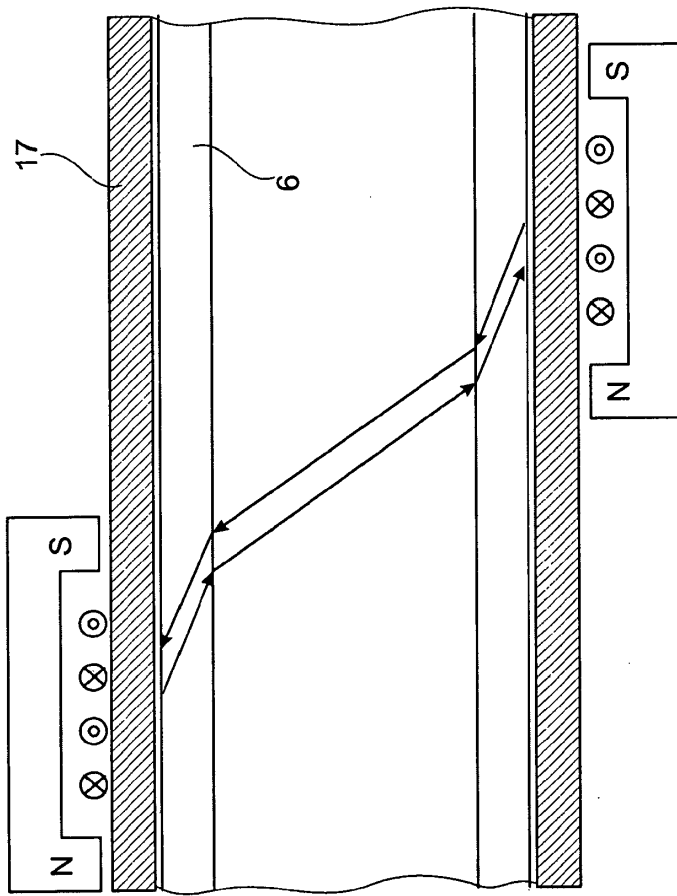


Fig. 3

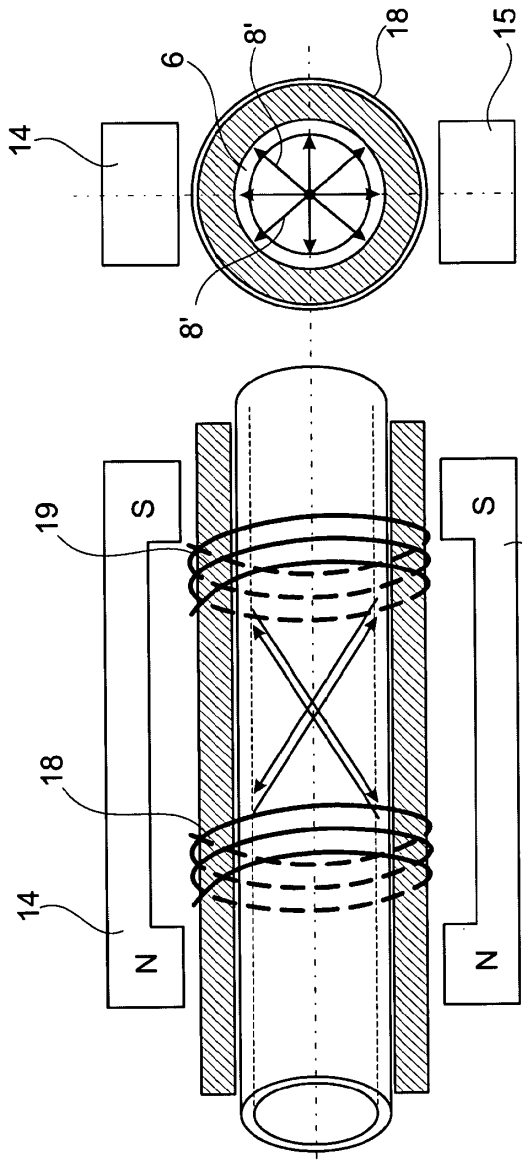


Fig. 4b

Fig. 4a

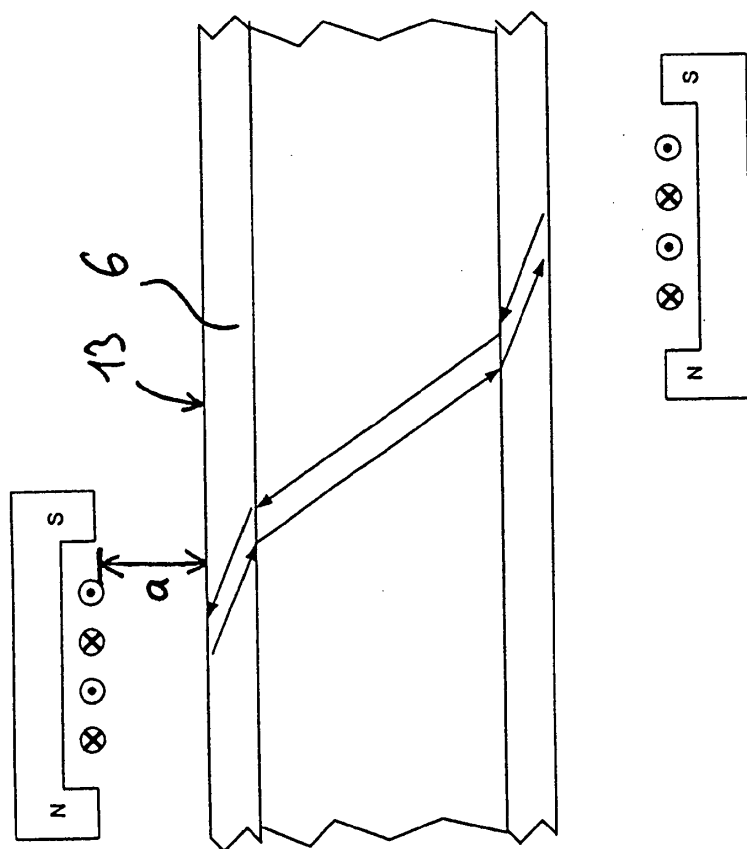


Fig. 5

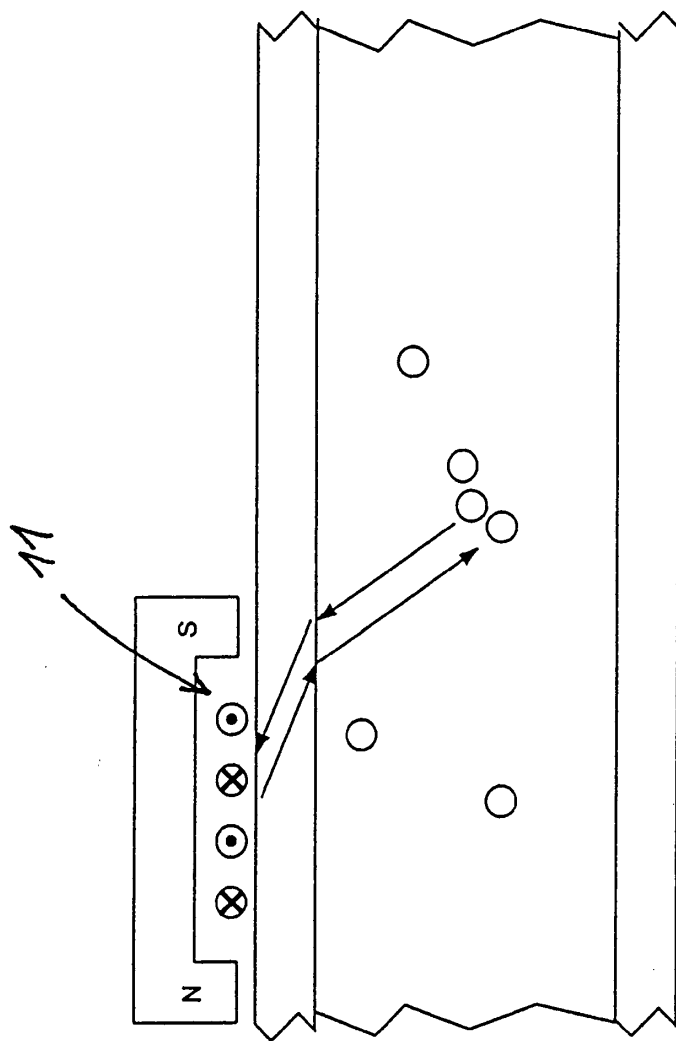


Fig. 6

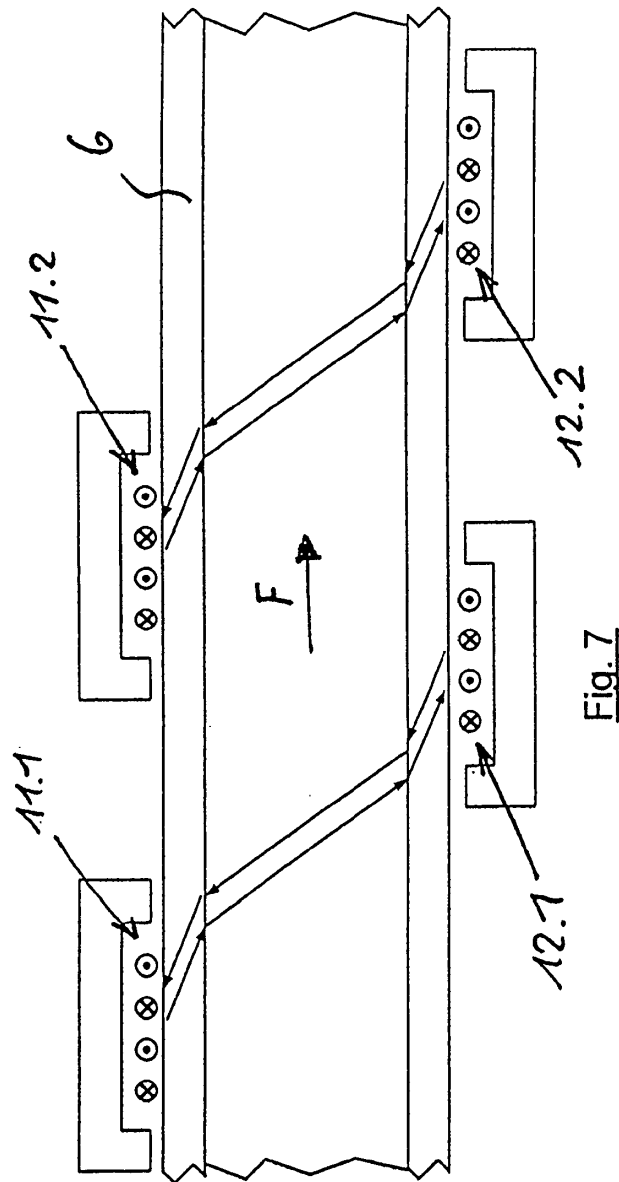


Fig. 7

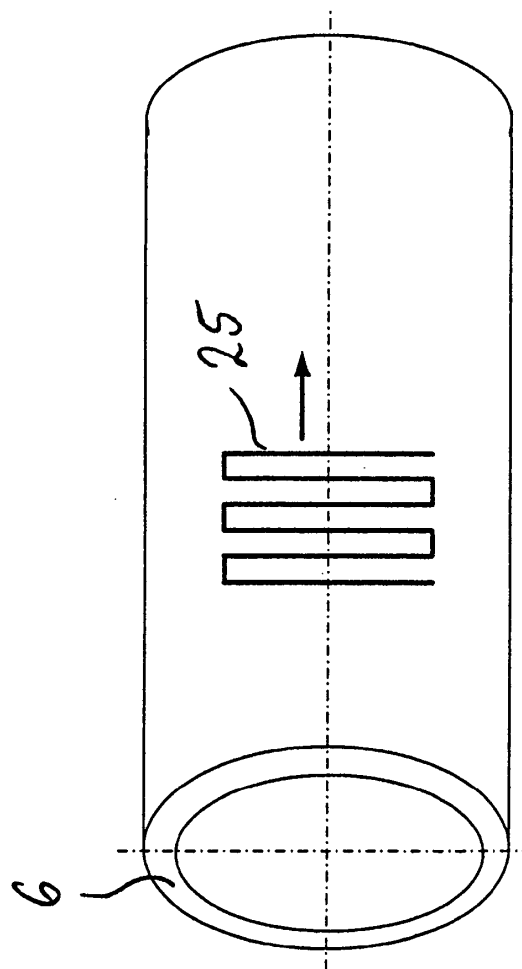


Fig. 8

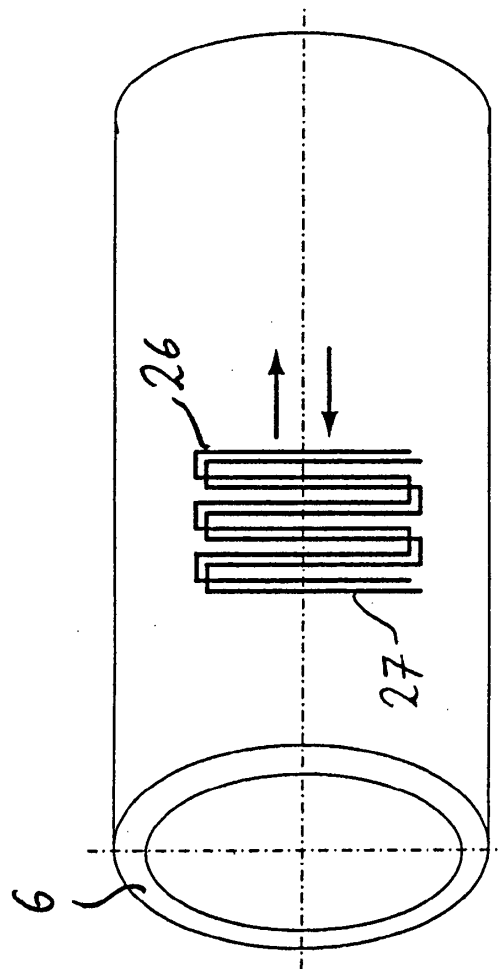


Fig. 9

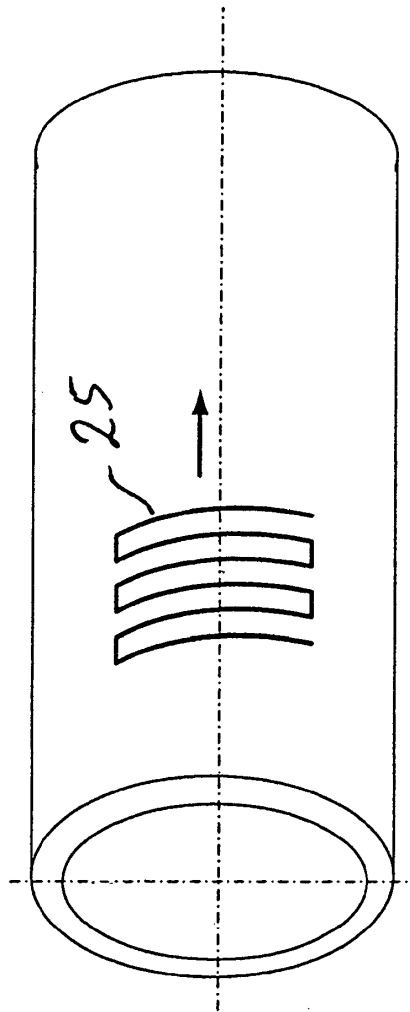


Fig. 10

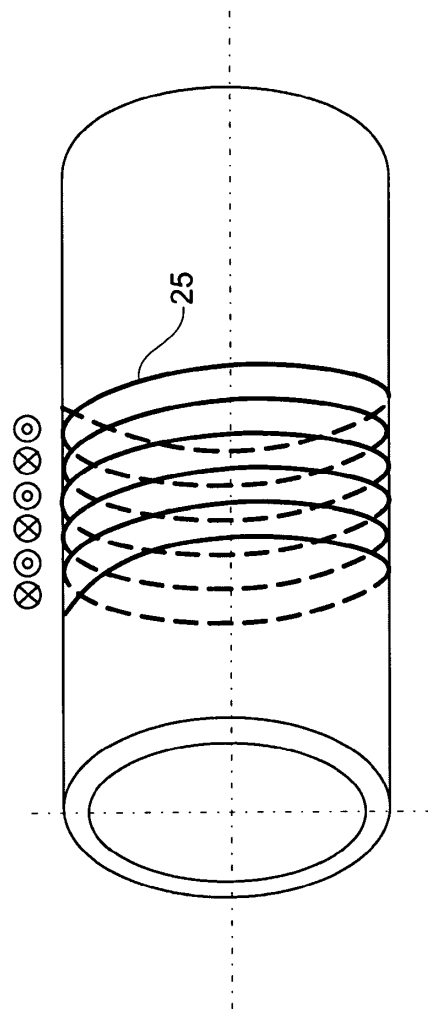


Fig. 11

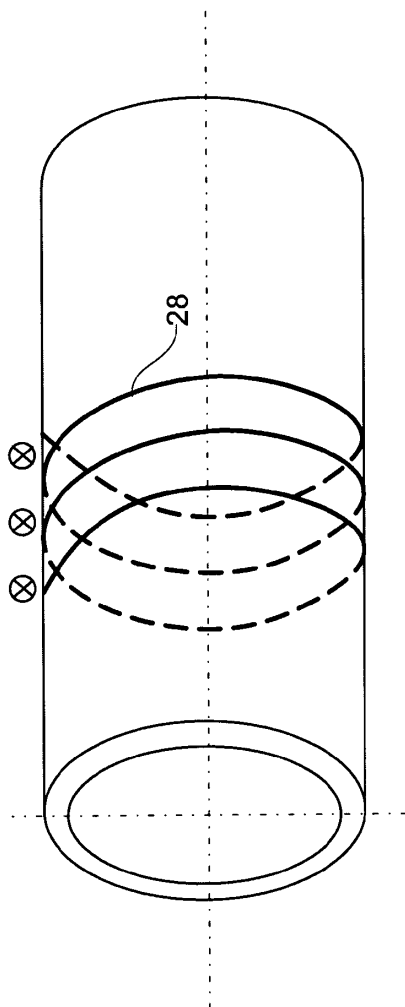


Fig. 12

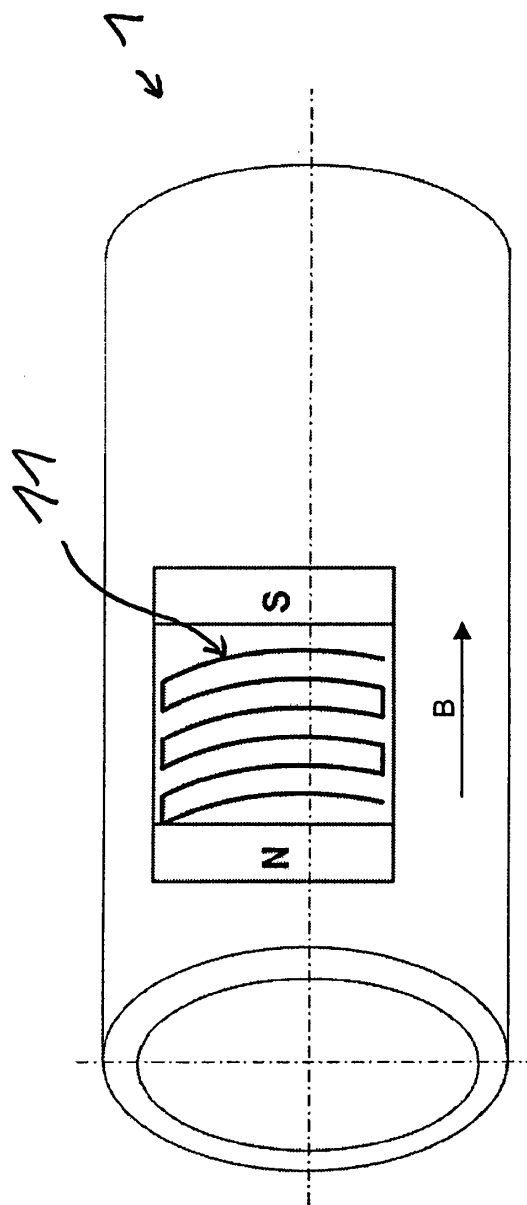


Fig. 13

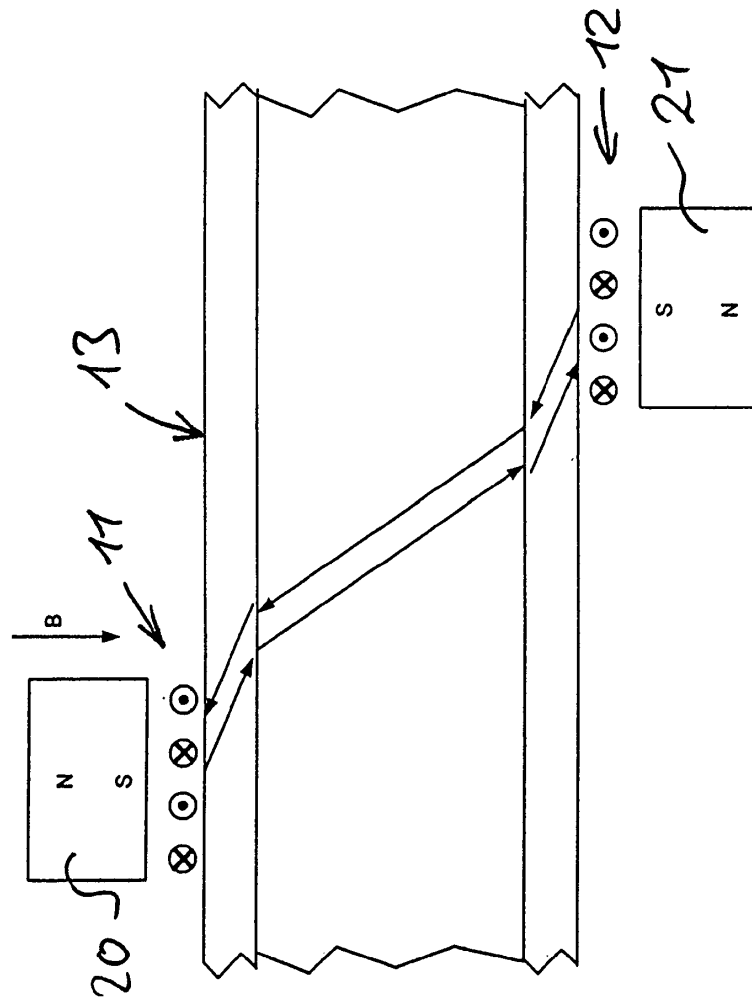
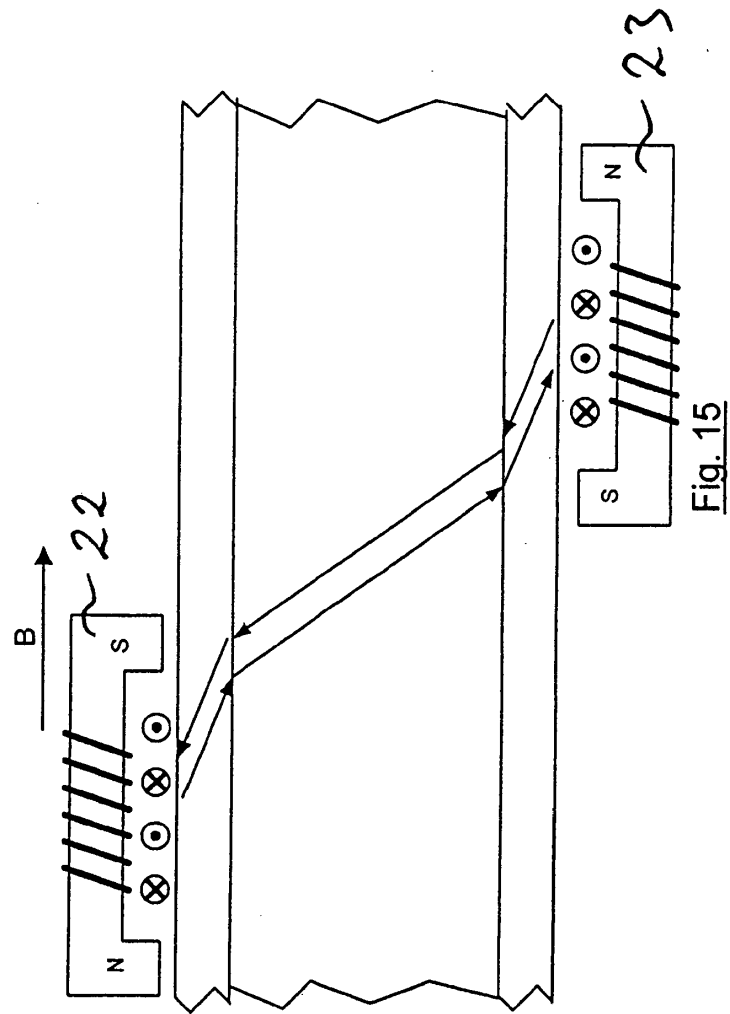


Fig. 14



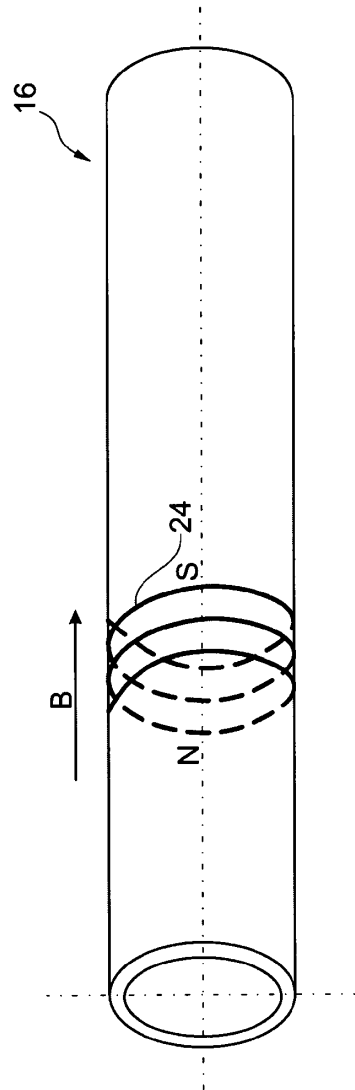


Fig. 16

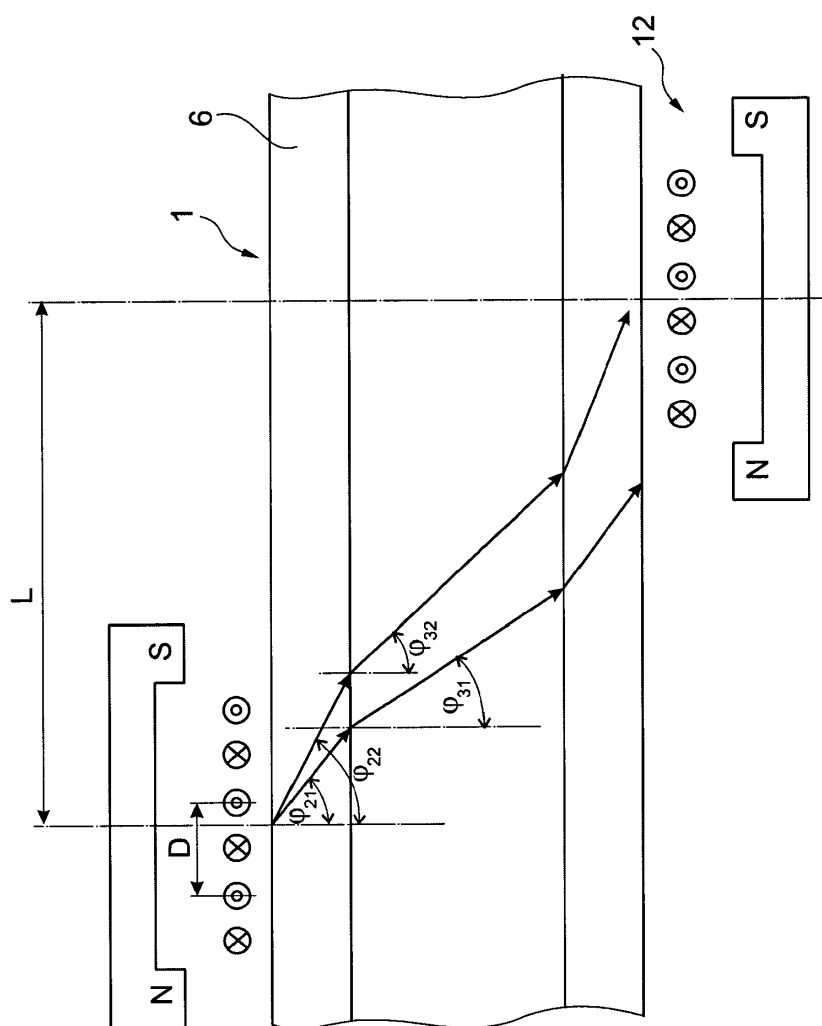


Fig. 17

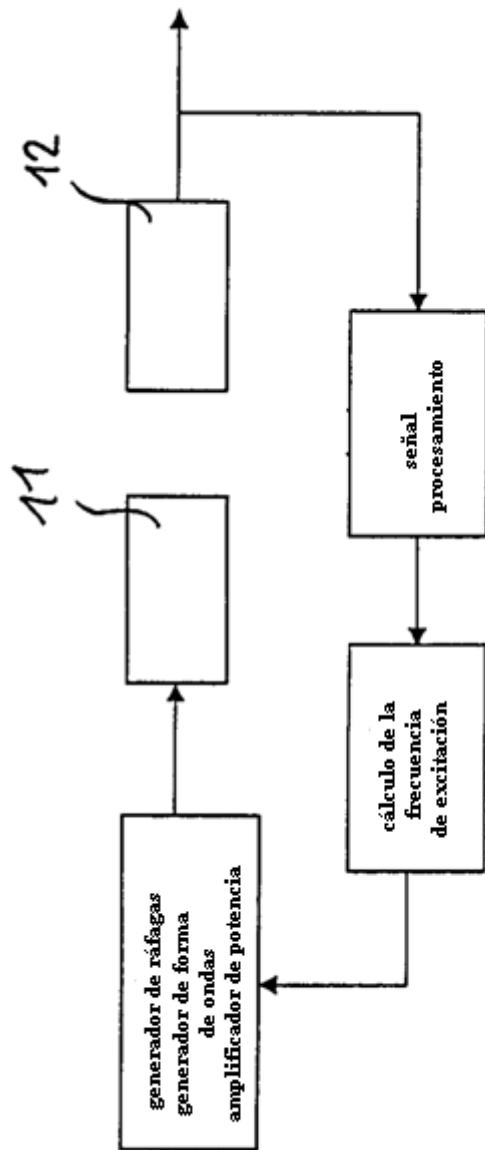


Fig. 18

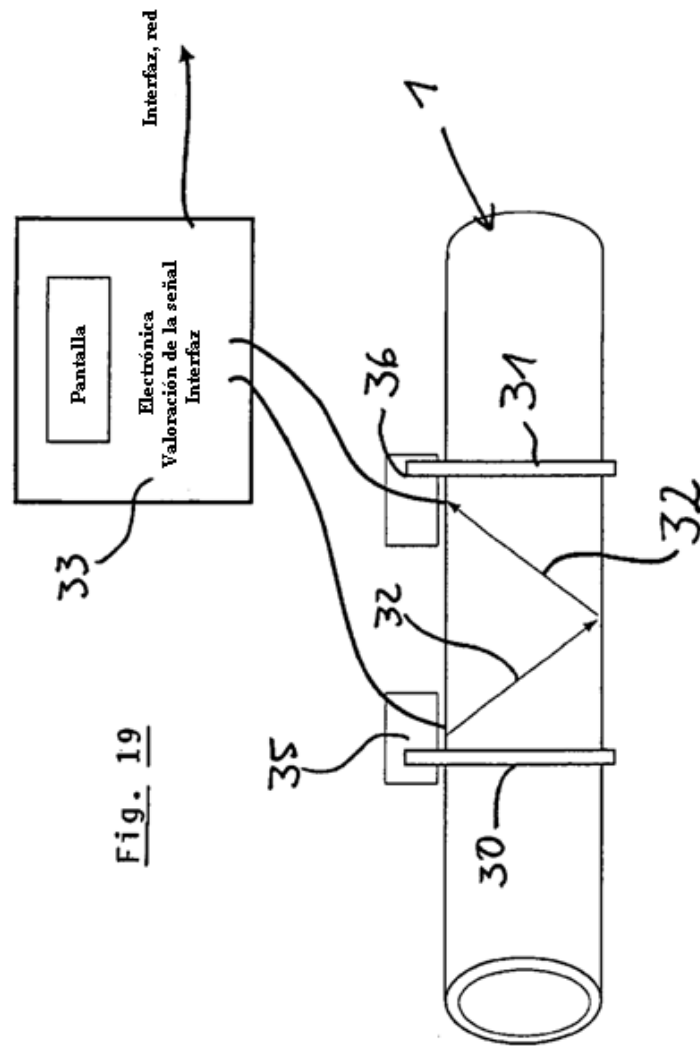
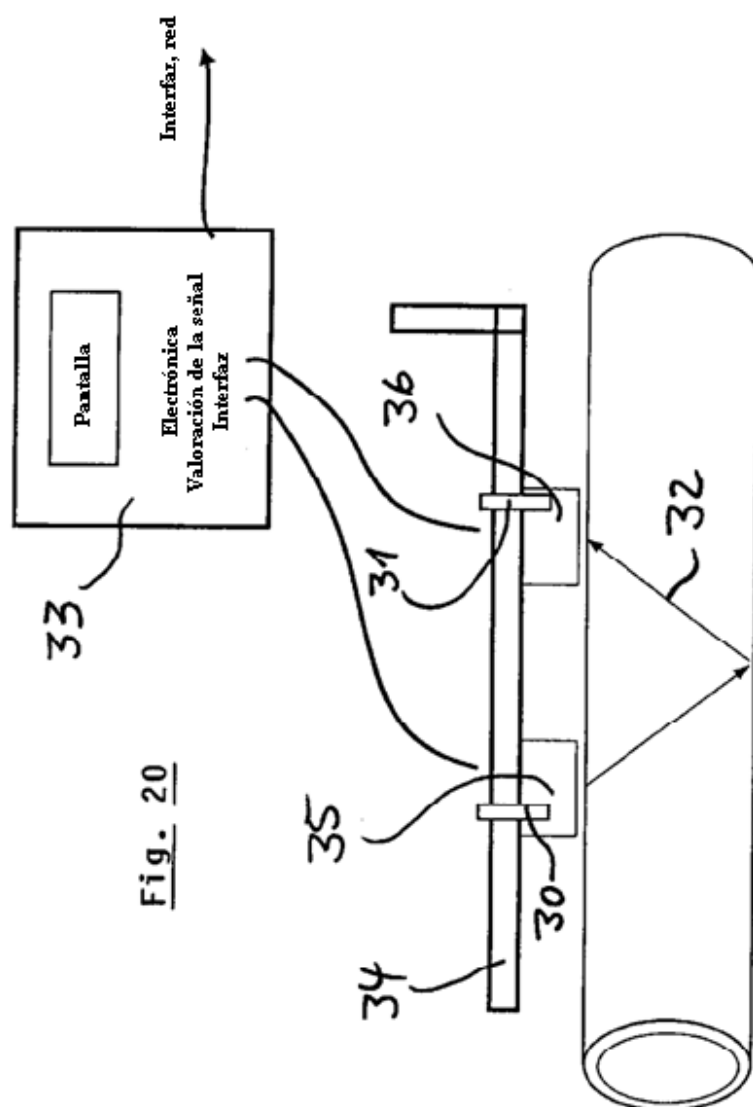


Fig. 19



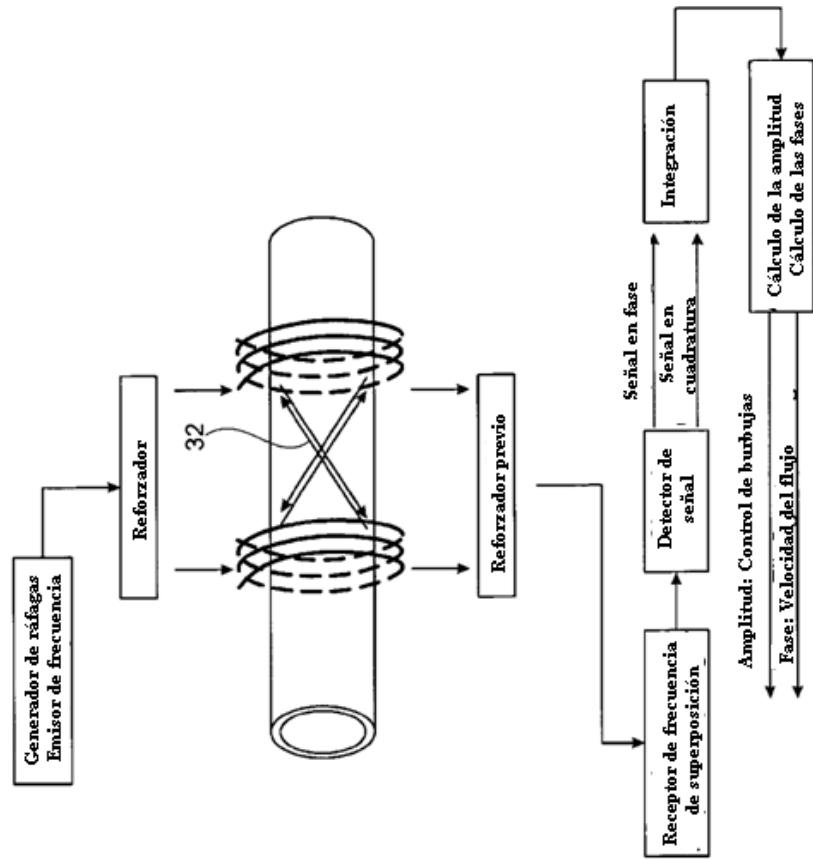


Fig. 21

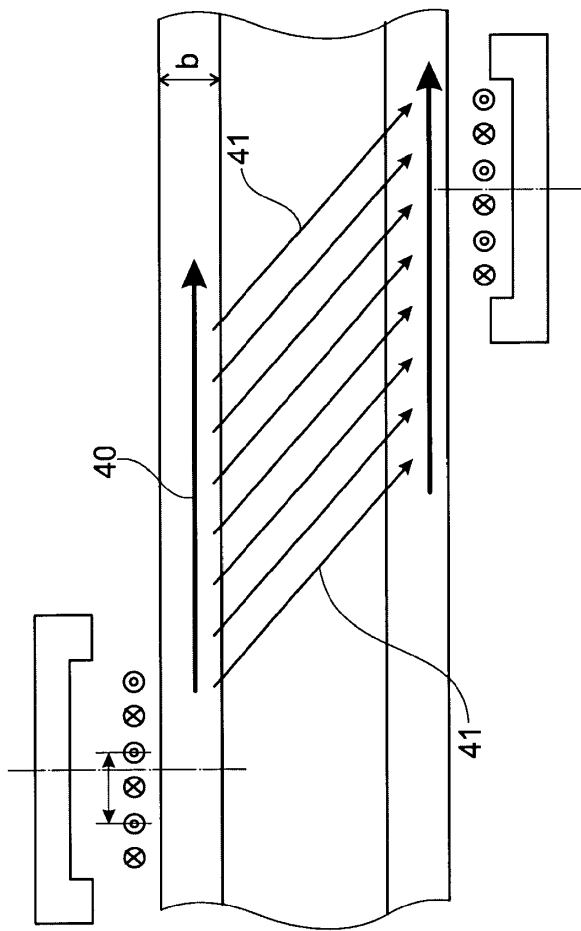


Fig. 22