

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 462 015**

51 Int. Cl.:

G01P 5/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2011 E 11723425 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.03.2014 EP 2577322**

54 Título: **Velocímetro y procedimiento de medición de la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor**

30 Prioridad:

01.06.2010 FR 1054250

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

22.05.2014

73 Titular/es:

**ECOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON
(50.0%)
15 Parvis René Descartes B.P. 7000
69342 Lyon 7ème, FR y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PINTON, JEAN-FRANÇOIS;
PLIHON, NICOLAS;
VERHILLE, GAUTIER y
MIRALLES, SOPHIE**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 462 015 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

Velocímetro y procedimiento de medición de la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor

La invención concierne a un velocímetro para medir la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor y a un procedimiento de medición de la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor.

5 Un fluido eléctricamente conductor es un fluido que contiene portadores de carga móviles. Por ejemplo, el sodio líquido, el galio líquido son fluidos eléctricamente conductores cuya conductividad es del orden de 10^6 S.m^{-1} . Los plasmas son igualmente fluidos conductores.

10 La medición de la velocidad de flujo de fluidos eléctricamente conductores interviene especialmente en la industria metalúrgica en el control de cadenas de producción. Estas mediciones intervienen igualmente en los circuitos de refrigeración de metal líquido de las centrales nucleares. Éstas pueden intervenir igualmente en los procedimientos plasma (descontaminación, grabado o depósito de capas delgadas).

El depositante conoce un velocímetro que comprende:

- una fuente de campo magnético primario cuyas líneas de campo atraviesan el fluido eléctricamente conductor, y
- 15 - un primero y un segundo sensores de campo magnético que miden cada uno la intensidad del campo magnético en una misma primera dirección de medición.

Por dirección de medición se designa un conjunto de vectores colineales orientados en el mismo sentido.

20 En ausencia de flujo del fluido, las líneas de campo de la fuente de campo magnético primario tienen una forma inicial. Los sensores miden entonces una intensidad del campo magnético con velocidad de flujo nula. En el flujo del fluido, el movimiento de los portadores de carga móviles deforma las líneas de campo que atraviesan el fluido. Así, la intensidad medida por los sensores varía con la velocidad de flujo del fluido. Para aumentar la sensibilidad de las mediciones, en los velocímetros conocidos, los primero y segundo sensores se disponen simétricamente con respecto a un plano de simetría de la fuente del campo magnético primario y las intensidades medidas por estos dos sensores se suman. Un plano de simetría de la fuente del campo magnético primario es un plano de simetría para las líneas del campo magnético primario.

25 Además, los sensores están colocados lo más cerca posible de la fuente de manera que sean más sensibles al campo magnético primario que a otros campos magnéticos. A pesar de las precauciones, los velocímetros conocidos siguen siendo sensibles a las perturbaciones causadas por un campo magnético exterior tal como el campo magnético terrestre o un campo magnético radiado por un aparato eléctrico dispuesto en la proximidad. Por otra parte, la linealidad de los velocímetros conocidos es perfecta.

30 Por « linealidad », se designa el desvío máximo entre la curva características lineal ideal que relaciona la velocidad medida con la señal de salida del velocímetro y su curva característica real.

La invención pretende resolver uno o varios de estos inconvenientes.

Así pues, ésta tiene por objeto un velocímetro para medir la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor, en el cual:

- 35 - los dos sensores están dispuestos de manera que, en ausencia de flujo del fluido eléctricamente conductor, la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores sea no nula, y
- el velocímetro comprende una unidad de tratamiento apta para calcular la velocidad de flujo del fluido en una dirección paralela a la primera dirección de medición a partir de la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores.

40 El hecho de utilizar la diferencia de las intensidades medidas permite mejorar la linealidad del velocímetro como se explica más adelante en la descripción. Además, esta medición diferencial permite limitar la dependencia de la velocidad medida:

- de las variaciones temporales del campo magnético exterior,
- del campo inducido por los gradientes de velocidad en presencia del campo magnético exterior, y
- 45 - de las variaciones espacio-temporales del campo magnético inducido por los gradientes.

Los modos de realización de este velocímetro pueden comprender una o varias de las características siguientes:

- los dos sensores se disponen de manera que, en ausencia de flujo del fluido eléctricamente conductor, la diferencia entre las intensidades del campo magnético primario medidas por los dos sensores sea superior a la más pequeña de estas intensidades,

- la fuente comprende un eje de imantación y los dos sensores se disponen en un mismo lado de un plano que contiene al eje de imantación,
 - el primer sensor se sitúa a una distancia D_{16} de la fuente de campo magnético primario, y el segundo sensor se sitúa a una distancia D_{19_1} de la fuente de campo magnético primario, de manera que el valor absoluto de la diferencia de las distancias D_{16} y D_{19_1} sea superior a la más pequeña de las distancias D_{16} y D_{19_1} ,
 - se dispone un perturbador magnético más próximo a uno de los sensores que al otro de manera que en ausencia de flujo del fluido, la intensidad medida por el primer sensor sea al menos dos veces superior a la intensidad medida por el segundo sensor,
 - los primero y segundo sensores se disponen a igual distancia de la fuente de campo primario,
- 5
- el velocímetro comprende un tercer sensor de campo magnético, siendo el tercer sensor apto para medir el campo magnético en la primera dirección de medición, estando dispuesto el tercer sensor con respecto a la fuente de manera que las intensidades medidas por el primero y el tercero sensores sean iguales en ausencia de flujo, y la unidad de tratamiento es apta para calcular la velocidad de flujo del fluido a partir:
 - de la diferencia de las intensidades medidas por el primero y segundo sensores,
- 10
- de la diferencia de las intensidades medidas por los segundo y tercero sensores, y
 - de la suma de estas diferencias.
- 15
- la fuente de campo magnético primario es una fuente de campo magnético alterno,
 - el campo magnético primario es modulado por una señal modulante predeterminada y las intensidades medidas por los sensores son desmoduladas con la ayuda de esta señal modulante, y
- 20
- el velocímetro comprende un cuarto y un quinto sensores de campo magnético, que miden la intensidad del campo magnético en al menos una segunda dirección de medición secante a la primera dirección de medición, y la unidad de tratamiento es apta para calcular la velocidad de flujo del fluido en la segunda dirección de medición de los cuarto y quinto sensores a partir de la diferencia entre las intensidades medidas por los cuarto y quinto sensores.
- Estos modos de realización del velocímetro presentan además las ventajas siguientes:
- 25
- la colocación de los primero y segundo sensores de manera que la diferencia de las intensidades del campo magnético primario medidas por estos sensores sea superior a la más pequeña de estas intensidades, permite mejorar la linealidad del velocímetro al tiempo que conserva la sensibilidad del sensor más próximo a la fuente;
 - la colocación de los dos sensores en el mismo lado permite aproximarlos y compensar de modo más eficaz la no linealidad causada por el gradiente de la velocidad del flujo;
- 30
- la adición de un perturbador magnético permite realizar velocímetros más compactos puesto que entonces no es necesario colocar el segundo sensor lejos de la fuente para que éste mida una intensidad del campo magnético primario despreciable frente a la intensidad del campo magnético primario medida por el primer sensor;
 - la adición de un tercer sensor que mide el mismo campo magnético que el primer sensor permite aumentar la sensibilidad del velocímetro;
- 35
- la modulación del campo magnético primario radiado por la fuente, acoplada a la desmodulación de la intensidad medida por los sensores permite el establecimiento de una detección síncrona que limita las consecuencias del ruido;
 - la adición de un tercero, de un cuarto y de un quinto sensores biaxiales permite medir la velocidad de flujo del fluido en tres direcciones, no colineales del espacio,
- 40
- La invención concierne igualmente a un procedimiento de medición de la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor que comprende la emisión de un campo magnético primario cuyas líneas de campo atraviesan el fluido eléctricamente conductor, comprendiendo este procedimiento:
- 45
- la medición de la intensidad del campo magnético en una primera dirección de medición por dos sensores dispuestos de manera que, en ausencia de flujo del fluido eléctricamente conductor, la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores sea no nula, y
 - el cálculo de la velocidad de flujo a partir de la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores.

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que sigue, dada únicamente a título de ejemplo no limitativo y hecha refiriéndose a los dibujos, en los cuales:

- la figura 1 es una ilustración esquemática en vista de costado de un velocímetro en la proximidad de una canalización que recibe un fluido conductor cuya velocidad de flujo es nula,
- la figura 2 es una ilustración esquemática en vista de costado del velocímetro de la figura 1 cuando la velocidad de flujo del fluido conductor es no nula,
- 5 - la figura 3 es un organigrama de un procedimiento de medición de la velocidad de flujo de un fluido conductor con la ayuda del velocímetro de la figura 1,
- la figura 4 es una ilustración esquemática en vista de costado de una primera variante del velocímetro de las figuras 1 y 2,
- 10 - la figura 5 es una ilustración esquemática en una vista de costado de una segunda variante del velocímetro de las figuras 1 y 2, y
- la figura 6 es una ilustración esquemática en una vista de costado de una tercera variante del velocímetro de las figuras 1 y 2.

En estas figuras, las mismas referencias son utilizadas para designar los mismos elementos.

15 En lo que sigue de esta descripción, no se describen en detalle las características y funciones bien conocidas por el especialista en la materia.

La figura 1 está orientada por un sistema de referencia ortonormal (x, y, z), en el cual la dirección x es denominada horizontal y la dirección y es denominada vertical. Ésta ilustra una canalización 2. Las paredes de la canalización 2 son permeables al campo magnético. Esta canalización 2 sirve para guiar un fluido 4 conductor a lo largo de una dirección de flujo 5 paralelamente a la dirección x. Por ejemplo, el fluido 4 tiene una conductividad superior a 10 S.m^{-1} y preferentemente superior a 100 S.m^{-1} o 1000 S.m^{-1} . En este caso, el fluido 4 es un líquido tal como el galio cuya conductividad eléctrica es igual a $6,78 \cdot 10^6 \text{ S.m}^{-1}$.

La figura 1 ilustra el caso en que hay ausencia de flujo del fluido 4 en la canalización 2.

25 La velocidad de flujo del fluido 4 es medida por un velocímetro 6. El velocímetro 6 está, por ejemplo, adherido a la periferia exterior de la canalización 2 sin que éste quede alojado en una cavidad en el interior de la canalización 2. El velocímetro 6 comprende una fuente 8 de campo magnético primario. La fuente 8 es por ejemplo un imán permanente que presenta un plano de simetría paralelo a las direcciones y y z. De modo más preciso, la fuente 8 presenta en este caso un eje de simetría contenido en el plano de simetría.

30 En este caso, la fuente 8 radia un campo magnético superior o igual a 0,2 Teslas. La fuente 8 tiene un momento magnético 9 llevado por un eje de imantación 11 paralelo a la dirección y. El eje de imantación 11 está confundido con el eje de simetría de la fuente 8. La fuente 8 está dispuesta de manera que las líneas de campo 12 del campo magnético primario atraviesan el fluido 4. Las líneas de campo 12 son simétricas con respecto a un plano que pasa por el eje 11 y paralelo a las direcciones y y z. La fuente 8 es por ejemplo un cilindro o un paralelogramo. La fuente 8 está dispuesta a algunos centímetros de la canalización 2.

35 Para simplificar la descripción, este primer modo de realización es descrito en el caso particular en que el velocímetro 6 mide la velocidad de flujo en una sola dirección 7 de medición. Más adelante, se describen modos de realización de un velocímetro apto para medir la velocidad de flujo en varias direcciones de medición. Aquí, el velocímetro 6 comprende dos sensores monoaxiales 14 y 16 aptos para medir la intensidad de un campo magnético en la misma dirección 7 de medición paralela a la dirección x. Los sensores 14 y 16 están, por ejemplo, alineados en un eje 17 perpendicular al eje 11. Los sensores 14 y 16 están situados a una y otra parte de la fuente 8 a distancias, respectivamente D14 y D16. En este caso, los sensores 14 y 16 están dispuestos de tal modo que en ausencia de flujo del fluido 4, las intensidades medidas por los sensores son iguales. A tal efecto, los sensores 14 y 16 están dispuestos de modo simétrico con respecto al plano que pasa por el eje 11 y paralelo a las direcciones y y z. Las distancias D14 y D16 son por tanto iguales. Los sensores 14 y 16 son por ejemplo sondas de efecto Hall.

45 Un tercer sensor monoaxial 19 mide la intensidad de un campo magnético en la misma dirección de medición que los sensores 14 y 16. El sensor 19 está, por ejemplo, alineado con los sensores 14 y 16 en el eje 17. El sensor 19 está dispuesto con respecto a la fuente 8 de manera que en ausencia de flujo del fluido 4 en la canalización 2, la diferencia entre las intensidades de los campos magnéticos medidos por los sensores 16 y 19 sea no nula (condición C0). Éste está situado a una distancia $D19_1$ de la fuente 8.

50 Preferentemente, el sensor 19 está dispuesto de manera que en ausencia de flujo 4 en la canalización 2, la diferencia entre las intensidades de los campos magnéticos medidos por los sensores 16 y 19 sea superior a la más pequeña de estas intensidades (condición C1). A tal efecto, en este modo de realización, $D19_1$ es elegida de manera que el valor absoluto de la diferencia entre las distancias D16 y $D19_1$ sea superior a la más pequeña de las distancias D16 y $D19_1$. Los sensores 14, 16 y 19 están conectados a una unidad de tratamiento 18. La unidad de tratamiento 18 es apta:

- para calcular la diferencia entre las intensidades medidas por los sensores 16, 19 y 14, 19, y
- para calcular la velocidad de flujo v_x del fluido 4 en la dirección 7.

5 La figura 2 ilustra el velocímetro 6 de la figura 1 cuando el fluido 4 fluye en la canalización 2. El movimiento de los portadores de carga del fluido 4 en un campo fijo provoca la aparición de un campo inducido B_i que depende de la velocidad de flujo v_x . Las intensidades medidas por los sensores 14, 16 y 19 son, por tanto, función de la velocidad del flujo v_x .

Se va a describir ahora el funcionamiento del velocímetro 6 en relación con el procedimiento de la figura 3.

Inicialmente, en una etapa 70, el velocímetro 6 es calibrado. Por ejemplo, a tal efecto, en un primer tiempo, en una tarea 71, se detiene el flujo del fluido 4.

10 A continuación, en una tarea 72, la fuente 8 radia el campo magnético primario cuyas líneas de campo 12 atraviesan el fluido 4.

En paralelo, en una tarea 74, los sensores 14 y 16 miden la intensidad del campo magnético en ausencia de flujo del fluido 4 en la canalización 2. Los sensores 14 y 16 miden respectivamente las intensidades $B_{14\text{permanente}}$ y $B_{16\text{permanente}}$ del campo magnético. Estas intensidades $B_{14\text{permanente}}$ y $B_{16\text{permanente}}$ están definidas por las relaciones siguientes:

15

$$B_{14\text{permanente}} = B_{T14} + B_{S14}$$

$$B_{16\text{permanente}} = B_{T16} + B_{S16}$$

donde

- B_{T14} y B_{T16} son las intensidades del campo magnético exterior medidas, respectivamente, por los sensores 14 y 16, y
- 20 - B_{S14} y B_{S16} son las intensidades del campo magnético primario radiado por la fuente 8 medidas, respectivamente, por los sensores 14 y 16.

El campo magnético exterior es un campo magnético especialmente homogéneo y uniforme a la escala de las distancias D_{14} , D_{16} y D_{19_1} . Este campo proviene de una fuente de campo magnético exterior al velocímetro 6. El campo magnético exterior es por ejemplo el campo magnético terrestre.

25 Las intensidades $B_{14\text{permanente}}$ y $B_{16\text{permanente}}$ medidas son memorizadas por la unidad de tratamiento 18.

Paralelamente a las tareas 72 y 74, en una tarea 76, el sensor 19 mide la intensidad $B_{19\text{permanente}}$ del campo magnético. La intensidad $B_{19\text{permanente}}$ está definida por la relación siguiente:

$$B_{19\text{permanente}} = B_{T19} + B_{S19}$$

donde :

- 30 - B_{T19} es la intensidad del campo magnético exterior medida por el sensor 19, y
- B_{S19} es la intensidad del campo magnético primario radiado por la fuente 8 medida por el sensor 19.

La intensidad $B_{19\text{permanente}}$ medida es memorizada por la unidad de tratamiento 18.

35 Una vez medidas y memorizadas las intensidades $B_{14\text{permanente}}$, $B_{16\text{permanente}}$ y $B_{19\text{permanente}}$, en una tarea 78, se fija la velocidad de flujo del fluido 4 en la canalización 2 en una velocidad conocida v_{1x} no nula. Por ejemplo, esta velocidad v_{1x} es fijada por una bomba regulada por un velocímetro.

A continuación, en una tarea 79, los sensores 14, 16 y 19 miden las intensidades B_{14} , B_{16} y B_{19} del campo magnético y las almacenan en la unidad de tratamiento. Las intensidades B_{14} , B_{16} y B_{19} están definidas por las relaciones siguientes.

40

$$B_{14} = B_{T14} + B_{S14} + B_{i14}$$

$$B_{16} = B_{T16} + B_{S16} + B_{i16}$$

$$B_{19} = B_{T19} + B_{S19} + B_{i19}$$

donde B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} son las intensidades del campo magnético inducido, medidas respectivamente por los sensores 14, 16 y 19.

45 Estas intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} son las que son funciones de la velocidad v_{1x} . A la inversa, las intensidades B_{T14} , B_{T16} , B_{T19} , B_{S14} , B_{S16} y B_{S19} son independientes de la velocidad v_{1x} .

En una tarea 80, la unidad de tratamiento 18 resta de las intensidades B_{14} , B_{16} y B_{19} respectivamente, las intensidades $B_{14\text{permanente}}$, $B_{16\text{permanente}}$ y $B_{19\text{permanente}}$ memorizadas para obtener las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} . Por ejemplo, las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} obtenidas para la velocidad v_{1x} son memorizadas por la unidad de tratamiento 18.

- 5 En una tarea 81, la unidad de tratamiento 18 calcula una pendiente K del velocímetro 6. Esta pendiente relaciona las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} con la velocidad v_{1x} de flujo del fluido 4. De modo más preciso, la pendiente K es la que relaciona las diferencias entre las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} con la velocidad v_{1x} .

La proporcionalidad de la velocidad en estas diferencias se explica con la ayuda de las relaciones siguientes. En lo que sigue de esta descripción, para simplificar las explicaciones y las ecuaciones, se supone:

- 10 - que el fluido 4 es incompresible,
- que las mediciones son realizadas en régimen permanente.

En estas condiciones, la ecuación E1 de inducción del campo magnético medido por el sensor 16 es la siguiente:

$$\frac{\delta B_{16}}{\delta t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot B_{16} + (B_{16} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v} + \lambda \cdot \Delta \cdot B_{16} \quad (\text{E1})$$

donde,

- 15 - Δ es el operador matemático Laplaciano
- ∇ es el operador matemático gradiente, y
- \mathbf{v} es la velocidad de flujo en las tres direcciones x , y y z cuyas componentes según estas tres direcciones son indicadas, respectivamente, v_x , v_y y v_z .

En régimen permanente, la ecuación E1 pasa a ser:

20
$$0 = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot B_{16} + (B_{16} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v} + \lambda \cdot \Delta \cdot B_{16}$$

La ecuación E1 puede escribirse igualmente del modo siguiente:

$$0 = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot (B_{T16} + B_{S16} + B_{i16}) + ((B_{T16} + B_{S16} + B_{i16}) \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v} + \lambda \cdot \Delta \cdot (B_{T16} + B_{S16} + B_{i16})$$

Puesto que el campo exterior es uniforme y homogéneo en el espacio alrededor del velocímetro 6, se puede escribir:

$$\nabla B_{T16} = 0 \text{ y } \Delta B_{T16} = 0$$

- 25 Además, en la mayoría de los casos, el número de Reynolds magnético del fluido 4 es pequeño de modo que B_{i16} puede despreciarse frente a B_{S16} . Finalmente, la Laplaciana ΔB_{S16} es despreciable fuera de la fuente 8. La ecuación E1 pasa a ser entonces:

$$0 = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot B_{S16} + ((B_{T16} + B_{S16}) \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v} + \lambda \cdot \Delta \cdot B_{i16}$$

En este caso, el término $\frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (B_{S16} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v}$ es despreciable frente a los otros términos intervinientes, la intensidad

- 30 B_{i16} es por tanto estimada por la relación siguiente

$$B_{i16} = \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot B_{S16} - \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (B_{T16} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v}$$

De modo similar, la intensidad B_{i14} es estimada por la relación siguiente:

$$B_{i14} = \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot B_{S14} - \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (B_{T14} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v}$$

- 35 El mismo razonamiento que anteriormente es aplicado para el sensor 19. En este caso, a nivel del sensor 19 la intensidad del campo magnético primario radiado por la fuente 8 es mucho más pequeña que a nivel del sensor 14 o

16. En efecto, la intensidad del campo magnético de la fuente 8 disminuye en $\frac{1}{R^3}$, donde R es la distancia que separa la fuente 8 del punto en que se mide la intensidad del campo magnético. Por ejemplo, si el sensor 19 está dispuesto como en este caso, de manera que en ausencia de flujo del fluido 4, la diferencia entre las intensidades B_{S14} y B_{S19} sea superior a B_{S14} entonces la intensidad B_{S19} puede ser despreciable frente a las intensidades B_{T19} y B_{i19} . La intensidad B_{i19} es estimada entonces por la relación siguiente:

$$B_{i19} = -\frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} B_{T19} \cdot \nabla \cdot v$$

Una función lineal que relaciona la velocidad de flujo del fluido 4 y las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} es por ejemplo la siguiente

$$B_{i14} - B_{i19} = \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (v \cdot \nabla) \cdot B_{S14} - \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (B_{T14} \cdot \nabla) \cdot v + \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} B_{T19} \nabla \cdot v$$

10 Siendo el campo terrestre uniforme en el espacio alrededor del velocímetro 6, las intensidades B_{T14} y B_{T19} son iguales. Por consiguiente, la relación precedente pasa a ser:

$$B_{i14} - B_{i19} = \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (v \cdot \nabla) \cdot B_{S14}$$

De esta manera, la diferencia entre las intensidades B_{i14} y B_{i19} permite anular o disminuir la influencia del término $-\frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (B_{T14} \cdot \nabla) \cdot v$. Esto aumenta la linealidad del velocímetro 6 suprimiendo o disminuyendo su dependencia con respecto al gradiente de la velocidad de flujo.

15 Siguiendo el mismo razonamiento, se puede escribir,

$$B_{i16} - B_{i19} = \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} (v \cdot \nabla) \cdot B_{S16}$$

En este caso, se utiliza entonces la ecuación E3 lineal siguiente que relaciona la velocidad v de flujo del fluido 4 en las direcciones x, y y z y las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} :

$$20 \quad B_{i16} + B_{i14} - 2B_{i19} = K \cdot v \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde $K = \frac{1}{\lambda} \Delta^{-1} \cdot \nabla \cdot (B_{S16} + B_{S14})$

La pendiente K en la ecuación E3 puede ser calculada o determinada de modo experimental. En este caso, en la tarea 81, ésta es determinada experimentalmente a partir de la velocidad v_{ix} conocida y de las mediciones de las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} . La pendiente K es determinada por tanto a partir de mediciones a velocidad conocida.

25 Preferentemente, la etapa 70 es realizada más de una vez con velocidades conocidas que cubran la gama de velocidades que se desea medir. A continuación, en cada repetición, la pendiente K obtenida es promediada con los valores de pendientes K obtenidos anteriormente.

30 Después de haber sido calibrado, se procede a una etapa 84 de utilización del velocímetro 6. En la etapa 84, el fluido 4 fluye en la canalización 2 a una velocidad desconocida que en lo que sigue de la descripción será indicada por v_i .

Inicialmente, en una tarea 86, los sensores 14, 16 y 19 miden las intensidades B_{14} , B_{16} y B_{19} del campo magnético.

35 A continuación, en una etapa 88, se calculan las intensidades B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} a partir de las intensidades B_{14} , B_{16} y B_{19} como se describió en la tarea 80.

En una etapa 90, la unidad de tratamiento calcula la velocidad v_{ix} de flujo del fluido 4 a partir de B_{i14} , B_{i16} y B_{i19} y de la pendiente K determinada en la etapa 70. Por ejemplo, para esto se utiliza la ecuación siguiente:

$$V_{ix} = (B_{i16} + B_{i14} - 2B_{i19})/K$$

5 El hecho de sumar las intensidades B_{i14} y B_{i16} aumenta la sensibilidad del velocímetro 6 mientras que el hecho de restar a cada intensidad B_{i14} y B_{i16} la intensidad B_{i19} aumenta su linealidad y disminuye su dependencia del campo magnético exterior.

10 La figura 4 ilustra un velocímetro 31 idéntico al velocímetro 6 con la excepción de que el velocímetro 31 comprende un perturbador magnético 40. Por perturbador magnético se designa cualquier elemento apto para deformar las líneas de campo 12 de la fuente 8. El perturbador 40 tiene la función de deformar las líneas de campo 12 de la fuente 8 de manera que para verificar la condición C0, no es necesario espaciar el sensor 19 de la fuente 8 una distancia $D19_1$ diferente de la distancia $D16$, Siendo las líneas de campo asimétricas debido a la introducción del perturbador 40, el sensor 19 puede ser aproximado a la fuente 8 al tiempo que se verifica la condición C0. En este caso, el perturbador 40 suprime la simetría de las líneas de campo 12 con respecto al plano que pasa por el eje 11 y paralelo las direcciones y y z. El velocímetro 31 es por tanto mas compacto que el velocímetro 6.

15 Por ejemplo, el perturbador 40 es un imán permanente yuxtapuesto a la fuente 8. En este caso, para suprimir la simetría de las líneas de campo 12, el eje de imantación del perturbador 40 que lleva su momento magnético no debe estar confundido con el eje 11 de la fuente 8. El momento magnético del perturbador 40 está dirigido en este caso en una dirección diferente al de la fuente 4. Por ejemplo, el momento magnético del perturbador 40 está dirigido en una dirección opuesta al de la fuente 8. El perturbador 40 está dispuesto más cerca del sensor 16 que del sensor 19. El sensor 19 está situado en este caso a una nueva distancia $D19_2$ de la fuente 8. Preferentemente, la distancia $D19_2$ es inferior a la distancia $D19_1$ del velocímetro 6. En este modo de realización, se ha omitido el sensor 14. El sensor 19 está dispuesto en este caso en un lado de la fuente 8 y el sensor 16 está dispuesto en el otro lado. Por ejemplo, las distancias $D16$ y $D19_2$ son iguales.

25 La figura 5 ilustra un velocímetro 50 idéntico al velocímetro 6 con la excepción de que éste está concebido para medir la velocidad de flujo en tres direcciones diferentes. Así pues, éste está destinado preferentemente a ser utilizado para medir la velocidad de flujo de un fluido en el interior de un conducto que permita varias direcciones de flujo. A tal efecto, el velocímetro 50 está equipado con un tercero, un cuarto y un quinto sensores 30, 32 y 34. Los sensores 30, 32 y 34 son sensores biaxiales. Estos miden la intensidad del campo magnético en las direcciones de medición 41 y 42 respectivamente, paralelas a direcciones y y z. Los sensores 30, 32 y 34 están, por ejemplo, alineados en un eje 38 perpendicular al eje 11 de imantación de la fuente 8.

Los sensores 30 y 32 están situados a una y otra parte de la fuente 8 a distancias, respectivamente $D30$ y $D32$. En este caso, los sensores 30 y 32 están dispuestos de tal modo que en ausencia de flujo del fluido 4, las intensidades medidas por los sensores 30 y 32 son iguales. A tal efecto, las distancias $D30$ y $D32$ son iguales. Por ejemplo, los sensores 30 y 32 son sondas de efecto Hall.

35 El sensor 34 está situado a una distancia $D34$ de la fuente 8. Éste está dispuesto de manera que en ausencia de flujo del fluido 4 en el canal 2, la diferencia entre las intensidades de los campos magnéticos medidas en las direcciones y y z por los sensores 32 y 34 sea no nula. Preferentemente, éste está dispuesto de manera que en ausencia de flujo del fluido 4 en el canal 2, la diferencia entre las intensidades de los campos magnéticos medidas por los sensores 32 y 34 sea superior a la más pequeña de estas intensidades. A tal efecto, en este caso, la distancia $D34$ es elegida de manera que el valor absoluto de la diferencia de las distancias $D32$ y $D34$ sea superior a la más pequeña de las distancias $D32$ y $D34$.

Los sensores 30, 32 y 34 están conectados a la unidad de tratamiento 18. La unidad de tratamiento 18 calcula las diferencias entre las intensidades medidas por los sensores 30, 34 y 32, 34 y calcula las velocidades de flujo v_{iy} y v_{iz} del fluido 4, respectivamente, en las direcciones de medición 41 y 42.

45 El funcionamiento del velocímetro 50 es similar al del velocímetro 6 salvo que la velocidad del fluido es calculada según las tres direcciones 7, 41 y 42. En particular, la calibración y el cálculo de las velocidades v_{iy} y v_{iz} se deduce de las explicaciones dadas para el cálculo de la velocidad v_{ix} .

50 La figura 6 ilustra un velocímetro 95 idéntico al velocímetro 50 con la excepción de que los sensores 14, 16, 19, 30, 32 y 34 son reemplazados por sensores triaxiales 96 y 98 aptos cada uno para medir la intensidad del campo magnético en tres direcciones 97, 99 y 101 de medición ortogonales entre sí. En este caso, los sensores 96 y 98 están dispuestos en un mismo lado de la fuente 8. Es decir, que estos se encuentran en el mismo lado de un plano que pasa por el eje de imantación 11 de la fuente 8 y paralelo a las direcciones y y z.

El funcionamiento del velocímetro 95 se deduce del funcionamiento del velocímetro 6 con la excepción de que solamente se realiza una medición de la intensidad del campo magnético en la proximidad de la fuente contra dos en

el velocímetro 6. Este velocímetro 95 mide la velocidad de flujo según las tres direcciones de medición de los sensores 96 y 98.

5 Son posibles otros numerosos modos de realización. Por ejemplo, la fuente 8 de campo magnético primario puede ser reemplazada por cualquier tipo de fuente localizada de campo magnético intenso. Por fuente localizada se designa una fuente que genera un campo magnético espacialmente no homogéneo a escala de las distancias que separan los sensores del velocímetro. Por ejemplo, la fuente 8 puede ser una bobina conductora o supraconductora. La fuente 8 puede ser una fuente de campo magnético continuo o alterno.

10 El velocímetro no se limita a la medición de la velocidad de flujo del galio líquido. Puede ser medio el flujo de cualquier fluido eléctricamente conductor. Por ejemplo, el velocímetro puede ser utilizado para medir la velocidad de flujo de un plasma.

15 En otro modo de realización, el campo magnético primario es modulado por una señal modulante predeterminada y las intensidades medidas por los sensores 14, 16, 19, 30, 32 y 34 o 96 y 98 son desmoduladas con la ayuda de la señal modulante. Así pues, se pone en práctica un procedimiento de detección síncrono. Por ejemplo, la detección del campo magnético es realizada como en los sensores de válvula de flujo más conocidos con el término inglés « fluxgate ».

La medición de la intensidad del campo magnético puede ser asegurada por cualquier sistema de medición de campo o de flujo magnético. Por ejemplo, los sensores 14, 16, 30, 32, 34, 96 o 98 pueden ser reemplazados por magnetorresistencias, bobinas de Mirnov, sensores de efecto Zeeman o válvulas de flujo.

20 El número de sensores de campo magnético del velocímetro 6 no está limitado a dos o tres, éste puede ser superior o igual a cuatro.

El eje 17 o 38 no atraviesa necesariamente la fuente 8.

En variante, para colocarse lo más cerca del fluido para medir la velocidad de flujo, está previsto un alojamiento en las paredes de la canalización para recibir el velocímetro.

25 El perturbador magnético no es necesariamente un imán permanente. Cualquier elemento cuya permeabilidad magnética sea diferente de 1 puede intervenir como perturbador magnético. Como perturbador 40 pueden utilizarse por ejemplo elementos de material magnético tales como materiales ferromagnéticos o ferrimagnéticos.

30 La condición C1 no debe ser respetada necesariamente. Por ejemplo, el sensor 19 puede estar próximo o muy próximo al sensor 16. En este caso, la intensidad B_{S19} no es necesariamente despreciable frente a la intensidad B_{T19} . Esto eventualmente puede limitar la sensibilidad del sensor pero no impide la mejora de su linealidad. Por el contrario, dado que en ciertos casos los sensores 16 y 19 están más próximos, el término B_{19} medido por el sensor 19 está más próximo al término $-\frac{1}{\lambda} \Delta^{-1}(B_{T16} \cdot \nabla) \cdot v$. En efecto, la velocidad del fluido por encima de los sensores 16 y 19 es estrictamente idéntica, lo que mejora la linealidad del velocímetro.

El procedimiento de la figura 3 no se limita a la medición de la velocidad de flujo de los fluidos incompresibles. La utilización del velocímetro 6 para fluidos poco compresibles es perfectamente posible.

35 En la etapa 70 del procedimiento de la figura 3, si no puede ser detenido el flujo del fluido en la canalización, es posible realizar la calibración del velocímetro desplazando el velocímetro suficientemente lejos de manera que en este caso la intensidad del campo magnético inducido medida por los sensores 14, 16 y 17 sea despreciable frente a la intensidad del campo magnético permanente medido por estos mismos sensores. En este caso, esta etapa es realizada por ejemplo en el taller de fabricación del velocímetro, preferentemente, a una temperatura próxima a su temperatura de utilización cuando éste esté fijado a la canalización.

40

Finalmente, la invención no está limitada la caso en que el fluido esté guiado en la canalización. Cualquier recipiente que contenga un líquido conductor puede ser asociado al velocímetro de la invención.

REIVINDICACIONES

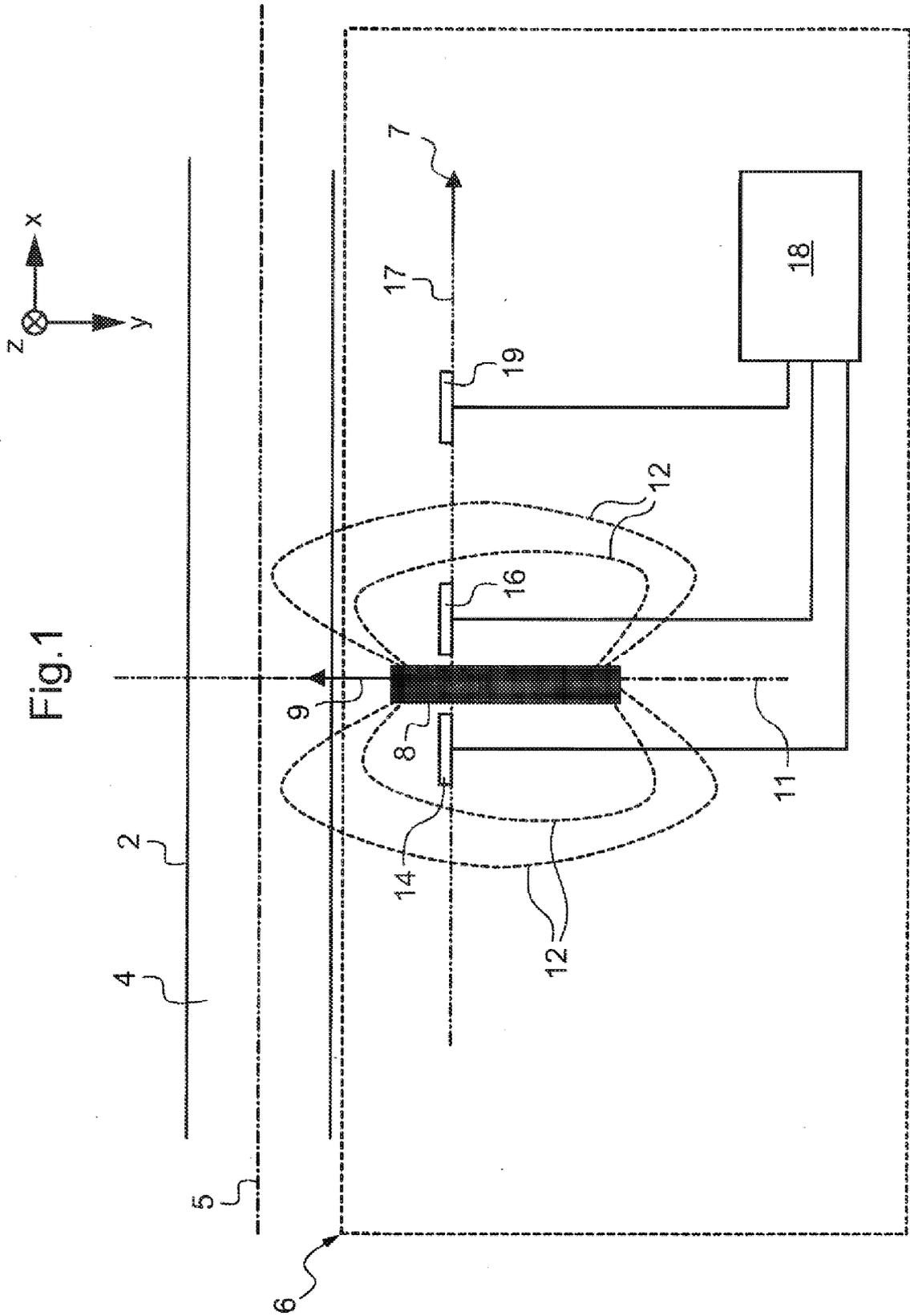
1. Velocímetro para medir la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor, comprendiendo este velocímetro:
- 5 - una fuente (8) de campo magnético primario cuyas líneas de campo (12) atraviesan el fluido (4), eléctricamente conductor, y
- un primero (16) y un segundo (19) sensores de campo magnético que miden cada uno la intensidad del campo magnético en una misma primera dirección de medición (7),
caracterizado por que
- 10 - los dos sensores (16, 19) están dispuestos de manera que, en ausencia de flujo del fluido (4) eléctricamente conductor, la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores (16, 19) sea no nula, y
- el velocímetro (6) comprende una unidad de tratamiento (18) apta para calcular la velocidad de flujo del fluido en una dirección paralela a la primera dirección de medición (7) a partir de la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores (16, 19).
- 15 2. Velocímetro de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los dos sensores (16, 19) están dispuestos de manera que, en ausencia de flujo del fluido (4) eléctricamente conductor, la diferencia entre la intensidad del campo magnético primario medida por los dos sensores (16, 19) sea superior a la más pequeña de estas intensidades.
3. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la fuente (8) comprende un eje de imantación (11) y los dos sensores (16, 19) están dispuestos en un mismo lado de un plano que contiene al eje de imantación (11).
- 20 4. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el primer sensor (16) está situado a una distancia D16 de la fuente (8) de campo magnético primario, y el segundo sensor (19) está situado a una distancia D191 de la fuente (8) de campo magnético primario, de manera que el valor absoluto de la diferencia de las distancias D16 y D191 sea superior a la más pequeña de las distancias D16 y D191.
- 25 5. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un perturbador magnético (40) dispuesto más cerca de uno (16) de los sensores que del otro (19) de manera que en ausencia de flujo del fluido (4), la intensidad medida por el primer sensor (16) sea al menos dos veces superior a la intensidad medida por el segundo sensor (19).
6. Velocímetro de acuerdo con la reivindicación 5, en el cual los primero y segundo sensores (16, 19) están dispuestos a igual distancia de la fuente (8) de campo primario.
- 30 7. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual:
- el velocímetro (6) comprende un tercer sensor (14) de campo magnético, siendo el tercer sensor (14) apto para medir el campo magnético en la primera dirección de medición (7), estando el tercer sensor (14) dispuesto con respecto a la fuente (8) de manera que las intensidades medidas por el primero (16) y el tercero (14) sensores sean iguales en ausencia de flujo, y
- 35 - la unidad de tratamiento (18) es apta para calcular la velocidad de flujo del fluido (4) a partir:
- de la diferencia de las intensidades medidas por los primero y segundo sensores (16, 19),
- de la diferencia de las intensidades medidas por los segundo y tercero sensores (19, 14), y
- de la suma de estas diferencias.
- 40 8. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la fuente (8) de campo magnético primario es una fuente de campo magnético alterno.
9. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el campo magnético primario es modulado por una señal modulante predeterminada y las intensidades medidas por los sensores (14, 16, 19) son desmoduladas con la ayuda de esta señal modulante.
- 45 10. Velocímetro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual:
- el velocímetro (6) comprende un cuarto (32) y un quinto (34) sensores de campo magnético, que miden la intensidad del campo magnético en al menos una segunda dirección (41, 42) de medición secante a la primera dirección de medición, y

- la unidad de tratamiento (18) es apta para calcular la velocidad de flujo del fluido en la segunda dirección (41, 42) de medición de los cuarto y quinto sensores (32, 34) a partir de la diferencia entre las intensidades medidas por el cuarto y quinto sensores.

5 11. Procedimiento de medición de la velocidad de flujo de un fluido eléctricamente conductor que comprende la emisión (70) de un campo magnético primario cuyas líneas de campo (12) atraviesan el fluido (4) eléctricamente conductor, caracterizado porque el procedimiento comprende:

- la medición (72) de la intensidad del campo magnético en una primera dirección de medición (7) por dos sensores (16, 19) dispuestos de manera que, en ausencia de flujo del fluido (4) eléctricamente conductor, la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores (16, 19) sea no nula, y

10 - el cálculo (74) de la velocidad de flujo a partir de la diferencia entre las intensidades medidas por los dos sensores (16, 19).



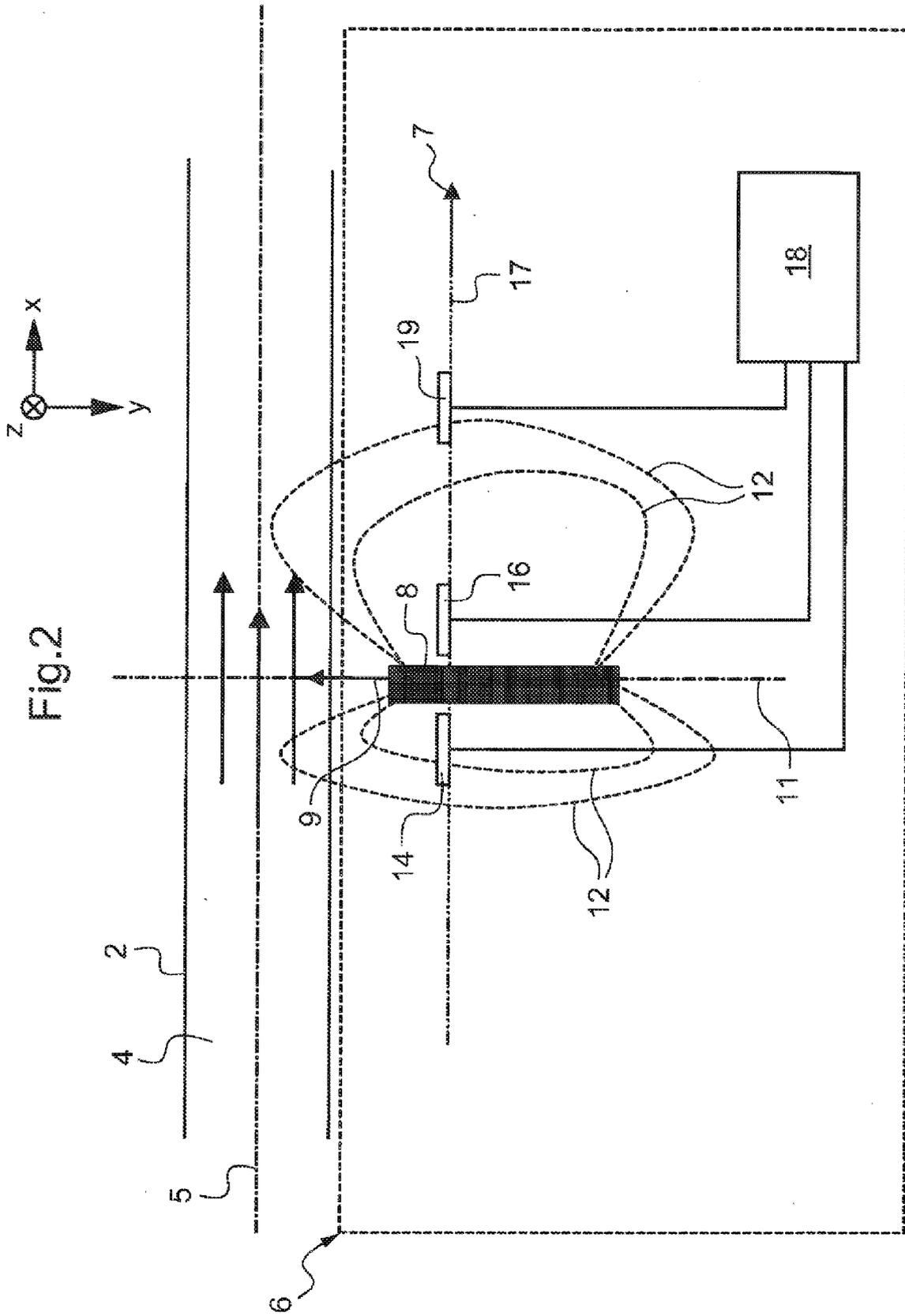


Fig.3

