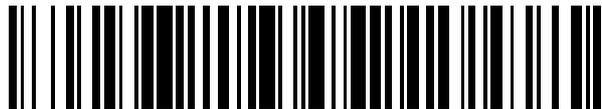


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 698 833**

51 Int. Cl.:

G01D 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.01.2011 PCT/FR2011/000028**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2011 WO11092396**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2011 E 11704646 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 2529187**

54 Título: **Dispositivo para la medida del posicionamiento de un micro-accionador**

30 Prioridad:

27.01.2010 FR 1000307

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

06.02.2019

73 Titular/es:

**UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ (33.3%)
1, rue Claude Goudimel
25030 Besançon Cedex, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) (33.3%) y
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE
MECANIQUE ET DES MICROTECHNIQUES
(33.3%)**

72 Inventor/es:

**HERIBAN, DAVID;
AGNUS, JOËL y
NOIZET, RONAN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 698 833 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo para la medida del posicionamiento de un micro-accionador

5 El presente invento se refiere a un dispositivo micro-técnico para la medida del posicionamiento de un micro-accionador.

10 La detección y la medida de los campos magnéticos es ampliamente utilizada en el mundo industrial. Especialmente, es posible detectar la presencia de un imán o incluso medir una posición de este imán en un entorno físico (detector de velocidad, detectores de posición).

De una manera más precisa, los imanes emiten un campo magnético que se trata de analizar mediante un detector medioambiental. Los detectores conocidos a estos efectos son los detectores con efecto Hall.

15 Un detector de posición que utiliza la medida de un campo magnético de un imán permanente mediante un detector de campo magnético ve degradarse su resolución de manera exponencial en función de la distancia entre el imán y el detector magnético. Cuando más lejos está el imán, peor es la resolución del detector de posición y los ruidos magnéticos y electrónicos se convierten en preponderantes ante la medida. Esta degradación está unida a la naturaleza física de los campos magnéticos y a las características de los detectores magnéticos.

20 Las aplicaciones industriales de un campo magnético conocidas operan generalmente en un dominio macroscópico lo que implica un aparellaje complejo y costoso para aumentar la resolución y filtrar los ruidos citados anteriormente. Otras aplicaciones están limitadas a la determinación de la posición u orientación de un objeto en un campo magnético: o incluso se contentan con medidas de desplazamientos que no incluyen nada más que un grado de libertad.

25 El documento WO2008/071875 describe un detector para la medida del desplazamiento de un imán. Para permitir desplazamientos de varios milímetros, el imán está definido en un sistema de referencias cartesiano o cilíndrico y los detectores de posición son de naturaleza lineal o rotativa.

30 El documento WO2009/120507 describe una sonda de posicionamiento preparada para detectar un campo magnético en relación con unos imanes montados sobre un armazón. Los desplazamientos medidos están limitados a un solo grado de libertad.

35 El documento WO 01/67034 describe un procedimiento para determinar la posición o la orientación de un objeto con la ayuda de un campo magnético. Para ello se fija un detector sobre el objeto cuya posición u orientación se quiere determinar. El documento EP 1 365 208 describe un detector de desplazamiento que incluye un imán montado sobre un objeto en desplazamiento y un primer elemento con efectos Hall situado en las cercanías de un punto central del imán y un segundo elemento con efecto Hall situado en las cercanías del primer elemento con efecto Hall en el lado opuesto del imán. Todo esto hace que algunos dominios tecnológicos, que requieren una gran resolución y una gran precisión en la medida de una posición, no puedan recurrir a los procedimientos o dispositivos ya conocidos en el estado de la técnica en relación con los detectores de un campo magnético.

40 Entre estos dominios, las micro- y las nanotecnologías son tocados de manera particular.

45 Las micro- y las nanotecnologías evolucionan muy rápidamente. Estas tecnologías utilizan fabricaciones y procedimientos en la escala sub-milimétrica, a saber, en el campo del micrómetro y del nanómetro.

50 Las aplicaciones de las micro- y de las nanotecnologías son amplias y son utilizadas especialmente para la micro-mecanización durante la fabricación de microsistemas (chips electrónicos del tipo detector/accionador) o microsistemas /nanosistemas electromecánicos (MEMS: "microelectromechanical systems", MST: "microsystem technology" o NST: "nanosystem technology").

55 Los sistemas citados anteriormente encuentran su aplicación en dominios muy variados entre los cuales se puede citar la industria del automóvil, la aeronáutica, las telecomunicaciones la biotecnología, la medicina, la física, la informática, la electrónica, la ingeniería molecular o incluso la ingeniería de nanomateriales.

60 Otros dominios tales como la mecatrónica utilizan hoy en día sistemas de micro- y de nanotecnología. La mecatrónica combina la electrónica, la mecánica y la informática para controlar sistemas complejos.

65 Los aparellajes en micro- o en nanotecnología utilizan clásicamente materiales de tipo piezoeléctricos, silicio o similar. Los fenómenos físicos utilizados se basan esencialmente en las propiedades térmicas, magnéticas, piezoeléctricas, electrostáticas o similares de los materiales utilizados. Es la misma naturaleza del material y de sus propiedades físicas la que permite realizar sistemas compactos que generan movimientos de alta resolución (1 nm a 1µm).

Como ya se ha indicado, estas tecnologías operan a escala de micro- o nanómetro y demuestran una gran precisión. Pero los fenómenos físicos que utilizan son generalmente no-lineales y están perturbados por el entorno (en particular, los fenómenos térmicos y piezoeléctricos). En consecuencia, las micro-y las nanotecnologías tienen que recurrir ya sea a aparellajes externos, costosos y sofisticados del tipo aparellajes de medida con láser o con interferómetros, para paliar las imprecisiones citadas anteriormente, ya sea a aparellajes internos al micro- o nanosistema, sometidos, ellos también, a fenómenos físicos perturbadores.

A esto hay que añadir que los aparellajes de corrección de errores utilizados son generalmente voluminosos y van en contra de la miniaturización buscada en la micro-y en la nanotecnología.

El invento viene a mejorar la situación.

La Solicitante ha observado que el paso a una escala microscópica modifica considerablemente el interés aplicativo de las medidas de un campo magnético desde el momento en el que se respeta un posicionamiento específico de los detectores magnéticos.

El dispositivo microtécnico propuesto es del tipo que incluye un accionador, dispuesto para desplazar un equipamiento móvil con respecto a un soporte. Incluyendo este equipamiento móvil un imán permanente, y un primer detector magnético, dispuesto para detectar un desplazamiento de un imán. Hay que observar que este accionador está dispuesto para desplazar el equipamiento móvil según dos grados de libertad, a partir de una posición de reposo, y que va a tratar de hacer igualmente una medida en dos dimensiones. El imán permanente es elegido preferentemente con una distribución del campo magnético que admita un plano de simetría principal, así como una dirección principal de imantación que pase por un centro. El primer detector está desplazado sensiblemente en el citado plano de simetría principal, a una primera distancia de trabajo del imán, mientras que el eje de trabajo de este primer detector es sensiblemente perpendicular a la dirección principal de imantación, y pasa sensiblemente por el centro, en la posición de reposo del imán, está previsto un segundo detector magnético, situado sensiblemente en el plano de simetría principal del campo magnético del imán, a una segunda distancia de trabajo del imán, mientras que el eje de trabajo de este segundo detector es sensiblemente paralelo a la dirección principal de imantación. En la posición de reposo del imán. Finalmente, el segundo detector está posicionado en las cercanías de un punto del extremo, por la citada segunda distancia de trabajo, estando situado el citado punto del extremo en un emplazamiento para el cual la componente sobre el eje de trabajo del gradiente de la componente sobre la dirección principal de imantación es máxima. El primero y el segundo detectores son sensibles entonces a los desplazamientos del equipamiento móvil perpendicularmente a sus ejes de trabajo respectivos.

Otras características son interesantes, de manera separada o en combinación:

- el primer detector está posicionado sobre la superficie de una esfera centrada de manera sensible sobre el citado centro y cuyo radio está comprendido entre 500 μ m y 2000 μ m, preferentemente comprendido entre 1000 μ m y 1200 μ m e incluso de una manera más preferente todavía sensiblemente igual a 1100 μ m;
- el segundo detector está posicionado sobre la superficie de una esfera centrada sensiblemente sobre el citado centro y cuyo radio está comprendido entre 500 μ m y 2000 μ m, preferentemente comprendido entre 1100 μ m y 1500 μ m, e incluso de una manera más preferente todavía sensiblemente igual a 1300 μ m;
- cada accionador es elegido en el grupo constituido por un accionador piezoeléctrico, por un accionador térmico, por un accionador magnético y/o un accionador electrostático;
- el equipamiento móvil del citado accionador está dispuesto para un desplazamiento en traslación del imán con un recorrido comprendido entre 0 μ m y 200 μ m según una dirección paralela a la dirección principal de imantación;
- la parte móvil del citado accionador está dispuesta para un desplazamiento en traslación con un recorrido comprendido entre 0 μ m y 400 μ m según una dirección perpendicular a la dirección principal de imantación.

El invento se refiere también a un dispositivo tal como el definido anteriormente, completado con un útil de control numérico capaz de almacenar los parámetros de conversión para pasar las medidas del campo magnético por parte de los detectores a los datos de posición del imán y/o del equipamiento móvil. Es por lo que se le llama también dispositivo mecatrónico.

Otras ventajas y características del invento aparecerán con la lectura de la descripción detallada a continuación y con los dibujos anexos en los cuales:

- La figura 1 representa de manera esquemática una vista en perspectiva de un dispositivo micro-técnico según un modo de realización del invento,
- la figura 2 es una vista en perspectiva de la parte del dispositivo micro-técnico en la que interviene el invento,
- la figura 2A es la misma vista que la de la figura 2, pero sin mostrar el soporte S, para una mejor visibilidad,
- la figura 3 es otra vista parecida a la de la figura 2A, mostrando las líneas del campo magnético,
- la figura 4 es otra vista en perspectiva, mostrando los puntos en los que el gradiente es máximo del campo magnético,

- la figura 5 es otra vista parecida a la de la figura 3, mostrando unas anotaciones vectoriales del campo magnético,
- la figura 6 es otra vista parecida a la de la figura 3, mostrando unas anotaciones de las magnitudes de la posición en el espacio,
- 5 - la figura 7 es un gráfico tridimensional que muestra la evolución de un campo magnético en dos direcciones,
- la figura 8 muestra el nivel general de la variación del campo magnético en un detector en la dirección y, con z constante,
- la figura 8A es un gráfico que compara unas medidas experimentales realizadas con un dispositivo del invento para pequeños valores de y con una evolución lineal,
- 10 - la figura 9 es un gráfico tridimensional que representa las variaciones de un gradiente del campo magnético dBz/dy en dos direcciones,
- la figura 10 es un gráfico establecido con las abscisas en la dirección y, y las ordenadas en la dirección z,
- la figura 11 es un gráfico bidimensional de la variación del campo magnético en un detector,
- 15 - la figura 12 es un gráfico bidimensional de la variación del campo magnético en otro detector,
- la figura 13 muestra una resolución espacial en función de la distancia detector-imán.

Los dibujos y la descripción que viene a continuación contienen, por esencial, unos elementos de carácter seguro. Los dibujos representan, en parte al menos, unos aspectos difíciles de describir de otra manera que no sea con los dibujos. Forman parte integrante de la descripción, y podrán, por lo tanto, servir no solamente para comprender mejor el presente invento, sino también para contribuir a su definición, llegado el caso.

Y pasa lo mismo con las fórmulas anexas a la presente descripción.

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un dispositivo microtécnico según un modo de realización del invento. El dispositivo incluye dos partes simétricas. Cada una lleva un accionador P dispuesto para desplazar un equipamiento móvil M con respecto a un soporte S. El equipamiento móvil M soporta solidariamente un imán permanente A. En este modo de realización el imán A está fijado sobre una cara inferior del equipamiento móvil M, que está aquí en posición de reposo.

En el modo de realización descrito el accionador P es del tipo piezoeléctrico. Como variante, se pueden considerar especialmente accionadores sensibles a los efectos electrostáticos o térmicos.

Aquí, el accionador P lleva un elemento piezoeléctrico que actúa sobre una viga deformable en el espacio para permitir un desplazamiento en traslación del equipamiento móvil M con respecto a un soporte S. La viga deformable es aquí el equipamiento móvil mismo, que está provisto en su cara superior de dos cintas conductoras R11 y R12 que desembocan en unos tetones de conexión P11 y P12. Pasa lo mismo en la cara inferior (Las cintas y los tetones de la parte de abajo no son visibles). La viga M es un elemento piezoeléctrico de dos capas con un electrodo entre las capas de masa horizontal. Una de las capas permite la deformación de la viga en una dirección, y la otra en la otra.

De esta manera el desplazamiento del equipamiento móvil M y del imán se hace según dos grados de libertad a partir de una posición de reposo. Se trata en principio de dos grados de libertad en traslación en dos direcciones perpendiculares. Sin embargo, se puede considerar un desplazamiento más complejo con dos grados de libertad.

Según el invento, el imán permanente A es elegido con una distribución del campo magnético que admite un plano de simetría principal, así como una dirección principal de imantación que pasa por un centro. Aquí, el imán es cúbico regular. Posee un volumen de alrededor de 1 mm^3 .

Por cada viga M y cada imán, el dispositivo micro-técnico incluye unos detectores C1 y C2 sensibles al campo magnético emitido por el imán A según unos ejes de trabajo respectivos representados por unas flechas discontinuas. Los detectores están fijados sobre el soporte S.

En el modo de realización descrito, se trata de unos detectores con efecto Hall, por ejemplo, el modelo HAL401 de la sociedad MICRONAS GmbH, Freiburg, Alemania. Es muy evidente que, pueden preverse otros detectores análogos. Los detectores están situados sobre la estructura del soporte para responder a una sensibilidad de alrededor de 800 a 1200 G/mm (Gauss por milímetro).

En el dispositivo micro-técnico de la figura 1, el accionador P, el equipamiento móvil M, el imán A y los detectores C1 y C2 se encuentran desdoblados. De esta manera, los diferentes elementos y muy particularmente los equipamientos móviles pueden colaborar conjuntamente para formar un chip piezoeléctrico destinado a operaciones de micro-manipulación especialmente, por ejemplo, como se describe en FR 2845026. A estos efectos, se preverá un útil de control numérico capaz de almacenar los parámetros de conversión para pasar unas medidas del campo magnético por parte de los detectores a datos de posición del imán y/o del equipamiento móvil.

A continuación, se considerará un modo de realización experimental con un único equipamiento móvil, que no hace nada más que llevar el imán. Lo que se describe podrá aplicarse a los dos equipamientos móviles de la figura 1.

Las figuras 2 y 2A hacen aparecer que el imán A está fijado lateralmente al equipamiento móvil M del accionador P. El equipamiento móvil M está en posición de reposo y está dispuesto para un desplazamiento según dos grados de libertad y y z a partir de esta posición de reposo.

5 Según el invento, el equipamiento móvil M del accionador P permite un recorrido total de alrededor de $400\mu\text{m}$ sobre el eje z y un recorrido total de alrededor de $200\mu\text{m}$ sobre el eje y. En otras palabras, el recorrido relativo arriba/abajo (sentido +/-) es respectivamente de alrededor de $200\mu\text{m}$ sobre el eje z a partir de la posición de reposo; y el recorrido relativo derecha/izquierda (sentido +/-) es respectivamente de alrededor de $100\mu\text{m}$ sobre el eje y a partir de la posición de reposo.

10 Los detectores C1 y C2 de la figura 2 están fijados sobre el soporte S. Cada detector está posicionado de una manera específica. El posicionamiento específico se realiza en función de las líneas del campo magnético. Los detectores C1 y C2 tienen unas zonas sensibles respectivas C1a y C2a. El posicionamiento del detector se define como el posicionamiento del centro de su zona sensible con respecto al centro del imán (o del campo magnético).

15 El posicionamiento específico puede variar dentro de ciertos límites. Esto es debido principalmente a la naturaleza misma de los campos magnéticos, de sus propiedades físicas y particularmente de su simetría. A estos efectos, el invento trata de un imán permanente con una distribución del campo magnético que admite un plano de simetría principal. El campo magnético admite igualmente una dirección principal de imantación que pasa por un centro. La libertad de la variación permite adaptar el dispositivo del invento en función del tamaño de los detectores provistos a mano con carcasas más o menos grandes.

20 La figura 3 muestra de una manera esquemática una vista de frente de una variante del dispositivo micro-técnico del invento.

25 El equipamiento móvil M es desplazable en traslación según los ejes y y z en el sistema de referencia del desplazamiento.

30 El imán permanente A está dispuesto para una distribución del campo magnético que admita un plano de simetría principal. Al tratarse de un imán cúbico, que posee dos planos de simetría, se toma uno de estos, definido por dos ejes y y z, como plano principal. Las líneas del campo magnético B son tridimensionales, pero vamos a considerar que sobre todo se extienden en este plano de simetría principal.

35 Los detectores C1 y C2 están colocados en función de estas líneas del campo y actúan cada uno según unos ejes de trabajo respectivos representados por unas flechas discontinuas; eje de trabajo T_{C1} para el detector C1 y eje de trabajo T_{C2} para el detector C2. El eje de trabajo T_{C1} del detector C1 está dirigido según el eje z y el eje de trabajo T_{C2} del detector C2 está dirigido según el eje y. De una manera más precisa, cada detector mide una componente (valor escalar) del campo magnético según su eje de trabajo respectivo.

40 La figura 4 muestra un esquema general de un campo magnético B de un imán permanente y de sus líneas de campo. La figura 4 muestra igualmente la disposición de los detectores C1 y C2 en este campo B. De una manera más particular, la figura 4 describe el emplazamiento específico de los detectores C1 y C2 según un modo de realización del invento.

45 La figura 5 precisa el emplazamiento de los detectores C1 y C2 según otro modo de realización.

50 Es necesario recordar que el campo magnético B es tridimensional (véanse las figuras 4 y 5: ejes x, y y z), pero que el emplazamiento de los detectores C1 y C2 se ha elegido en un plano común.

55 El imán permanente A se ha elegido con una distribución del campo magnético B que admite un plano de simetría principal, así como una dirección principal de imantación V_A . Se puede definir también el eje de imantación que es paralelo a V_A pasando por el centro O, y por los polos sur SU y norte NO del imán permanente A. El centro O es el centro físico de la fuente del campo magnético B. Es la intersección de 2 planos de simetría del campo magnético generado por el imán A y del plano del interfaz entre los polos Norte y Sur del imán A. En principio, es igualmente el centro de gravedad del imán permanente A.

60 La diferencia entre el emplazamiento de los detectores C2 de los modos de realización representados respectivamente en la figura 4 y en la figura 5 está relacionado con la simetría del campo magnético emitido por el imán permanente A, en el plano de simetría "secundario", perpendicular al plano de simetría principal ya citado. Sin embargo, cada emplazamiento de C2 responde de una manera sensible a las condiciones específicas descritas a continuación.

65 Los detectores C1 y C2 están posicionados en función de las líneas del campo. De una manera más precisa, el detector C1 está colocado de una manera sensible en el citado plano de simetría principal. El eje de trabajo z de

este primer detector C1 es sensiblemente perpendicular a la dirección principal de imantación V_A y pasa sensiblemente por el centro O, en la posición de reposo del imán.

5 Se considerará ahora una "distancia de trabajo" entre el imán y un detector. Se trata de la distancia entre el centro de gravedad O del imán (o centro del campo magnético) y el centro de la zona sensible del detector.

d_{C1} distancia entre el detector C1 y el centro O del imán permanente A

10 h_{C1} distancia en la dirección z entre el detector C1 y el centro O del imán

d_{C2} distancia entre el detector C2 y el centro O del imán

h_{C2} distancia en la dirección z entre el detector C2 y el centro O del imán

15 l_{C2} distancia en la dirección y entre el detector C2 y el centro o del imán

20 De una manera más general, el primer detector (C1) está colocado sensiblemente en el citado plano de simetría principal, a una primera distancia de trabajo d_{C1} del imán. El eje de trabajo (z) de este primer detector (C1) es sensiblemente perpendicular a la dirección principal de imantación (V_A), y pasa sensiblemente por el centro (O), en la posición de reposo del imán. Se tiene, por lo tanto, en principio:

$$d_{C1} = h_{C1}$$

25 En la práctica, el primer detector C1 está posicionado sobre la superficie de una esfera centrada sensiblemente en el centro O. el radio de esta esfera puede estar comprendido entre $500\mu\text{m}$ y $2000\mu\text{m}$, y de una manera preferente comprendido entre $1000\mu\text{m}$ y $1200\mu\text{m}$. Preferentemente el radio de la esfera es incluso sensiblemente igual a $1100\mu\text{m}$, o sea $d_{C1} = 1100\mu\text{m}$. La condición esencial que hay que respetar es un posicionamiento en las cercanías de un punto del extremo elegido entre el conjunto de puntos del extremo P_{z1} , P_{z2} , P_{z3} etc. y no chocar físicamente con el imán durante el desplazamiento de este último con el equipamiento móvil.

30 De esta manera, se observa que el detector C1 está posicionado en las cercanías de un punto del extremo P_z . Para definirlo, se considera la componente B_z del campo magnético que es detectado por el detector C1. Se considera la componente dB_z/dy del gradiente de B_z en la dirección y y sensiblemente paralela a la dirección principal de imantación V_A . El punto del extremo P_z está definido como el punto en el que dB_z/dy es máximo (o mínimo con valores negativos).

35 En efecto, para la medida de una variación de la posición del imán A, es necesario medir una variación del campo magnético B tal como lo define la fórmula (I) del anexo I.

40 El posicionamiento del detector es elegido sensiblemente en función de la variación espacial del campo magnético B. En efecto, lo que se ha buscado ha sido una variación espacial importante del campo magnético. Esta variación espacial es la divergencia $V \cdot B$ del campo definido por la fórmula (II) del anexo I.

45 El detector C1 no mide nada más que una componente del campo magnético B, esta componente es un valor escalar, a saber, B_z para el detector C1. La variación de esta componente está representada entonces por el gradiente definido por la fórmula (III) del anexo I.

50 Dicho de otra manera, existe una relación directa entre la resolución del detector de posición y la componente dB_z/dy del gradiente calculado en la posición de C1.

55 En la figura 4, parece que cada gradiente del campo magnético está en un sistema bidimensional (al menos) en el plano de simetría del campo magnético y/o del imán permanente A. Así, los gradientes del campo magnético definen al menos dos curvas respectivas $f(P_z)$ y $f(P_y)$ – o incluso $g(P_z)$ y $g(P_y)$. Cada curva está descrita por sus puntos y cada punto es un gradiente dB_z/dy máximo o un gradiente dB_y/dz máximo. La simetría del campo magnético tiene como consecuencia que $f(P_z) = -g(P_z)$ y que $f(P_y) = -g(P_y)$.

En el caso del detector C1, la determinación del extremo es sencilla. En efecto, la curva $f(P_z)$ (o $g(P_y)$) es una recta que pasa por el centro del imán, y que es perpendicular a la dirección principal de imantación V_A .

60 Lo mismo que el detector C1, el detector C2, añadido según el presente invento, está también posicionado en las cercanías de un punto del extremo. La determinación de este extremo es más sutil.

65 Para definir este extremo, se considera la componente B_y del campo magnético que es detectado por el detector C2. Se considera la componente dB_y/dz del gradiente de B_y , según la dirección z sensiblemente perpendicular a la dirección principal de imantación V. El punto del extremo P_y está definido como un punto en el que dB_y/dz es máximo (o mínimo con valores negativos).

El detector C2 mide la componente B_y (valor escalar) del campo magnético B. Su variación está representada por el gradiente definido por la fórmula (IV) del anexo I.

5 El detector C2 está situado a una segunda distancia de trabajo del imán A, anotada como d_{C2} . De una manera más general, el segundo detector C2 está posicionado sobre la superficie de una esfera centrada sensiblemente en el centro O. El radio de esta esfera puede estar comprendido entre $500\mu\text{m}$ y $2000\mu\text{m}$, y preferentemente entre $1100\mu\text{m}$ y $1500\mu\text{m}$. Preferentemente, el radio de la esfera es sensiblemente igual a $1360\mu\text{m}$, o sea $d_{C2} = 1,36\text{mm}$.

10 La condición esencial que hay que respetar es un posicionamiento en las cercanías de un punto del extremo elegido entre el conjunto de puntos del extremo P_{y1} , P_{y2} , P_{y3} etc. y no golpear físicamente el imán durante el desplazamiento de este último junto con el equipamiento móvil.

15 Como consecuencia, el detector de la medida de un desplazamiento según el eje y, a saber, el detector C1 está situado de tal manera que la variación del campo magnético que él detecta sea máxima para un desplazamiento del accionador en un sentido según el eje y; y, lo mismo para el detector de la medida de un desplazamiento según el eje z, a saber el detector C2 está situado de tal manera que la variación del campo magnético que él detecta sea máxima para un desplazamiento del accionador en un sentido según el eje z.

20 Nos ocuparemos ahora de la curva $f(P_y)$ (o $g(P_y)$), en el plano de simetría del campo magnético B (véase la figura 4).

La figura 9 es un gráfico tridimensional que representa las variaciones del gradiente dB_z/dy en función de las distancias y y z al centro del imán, de coordenadas (0, 0). Los ejes y y z están graduados en mm, y la ordenada, una recta, está en Gauss por milímetro.

25 La figura 10 es un gráfico establecido con las abscisas en la dirección y, y las ordenadas en la dirección z. Ilustra la localización de los puntos del extremo para el detector C2. Cada punto del extremo está establecido como el extremo para una distancia dada del centro del imán, teniendo las coordenadas (0, 0), que están situadas fuera del marco del gráfico. El gráfico de la figura 10 se corresponde con la curva en trazo grueso que desciende hacia adelante en la figura 9. La curva es de aspecto parabólico, y puede ajustarse con un polinomio de grado 2 ó 3.

30 En resumen, en un modo particular preferente del invento:

a. La distancia d_{C1} entre el detector C1 y el centro O del imán permanente A (o centro del campo magnético) es de $1100\mu\text{m}$. El detector C1 está posicionado sobre el soporte debajo del imán A (centrado coaxialmente) con $h_{C1} = 1100\mu\text{m}$ en la dirección z. Para C1, se tiene $dB_z/dy = 1000$ Gauss/mm.

40 b. La distancia d_{C2} entre el detector C2 y el centro O del imán permanente A (o centro del campo magnético) es de $1360\mu\text{m}$. El detector C2 está posicionado diagonalmente con respecto al imán A con $h_{C2} = 800\mu\text{m}$ en dirección z y $l_{C2} = 1100\mu\text{m}$ en dirección y. Para C2, se tiene $dB_y/dz = 900$ Gauss/mm.

45 El dispositivo micro-técnico según el invento reenvía, por lo tanto, por cada equipamiento móvil, dos medidas del campo magnético, proporcionadas respectivamente por el detector C1 y el detector C2. Se supone que las medidas aquí están efectuadas bajo la forma de una tensión, función del campo magnético. La medida tiene ruidos. El detector HAL 401 tiene una resolución comprendida entre 4,2 y 5,5 mV/G (datos del constructor). Las tensiones de salida están comprendidas entre 0 y +4,5 V. Procede de una electrónica de acondicionamiento, para filtrar los ruidos de la medida y amplificar la señal de -10V a +10V.

50 Los movimientos del equipamiento móvil M imponen al imán A unos desplazamientos en el plano yz, con una pequeña componente en el eje x, teniendo en cuenta las pequeñas rotaciones necesarias para desplazar el equipamiento móvil M con la deformación del accionador.

55 El detector C1 detecta las variaciones de la componente B_z del campo magnético, con el objetivo de obtener los desplazamientos del imán según el eje y. Por su parte, el detector C2 detecta las variaciones de la componente B_y del campo magnético, con el objetivo de obtener los desplazamientos del imán según el eje z.

60 Pero cuando se quiere convertir los campos magnéticos detectados por los detectores C1 y C2 en desplazamientos, hay un acoplamiento, por lo que un desplazamiento efectuado únicamente según el eje y va a provocar no solamente una variación de la componente B_z detectada por el detector C1 sino también una variación de la componente B_y detectada por el detector C2.

65 La figura 7 es un gráfico tridimensional, que muestra una evolución del campo magnético en dos direcciones y y z en abscisas, con, en las ordenadas, una magnitud Comp.Z, sobre la cual volveremos. Hace aparecer el acoplamiento entre las medidas efectuadas. Las medidas son dependientes del posicionamiento del imán permanente A.

- Hay que considerar ahora a la Comp.Z, la componente del campo magnético medida en el detector C1. Se admite que los detectores del campo magnético suministran una tensión proporcional al campo magnético que detectan. De esta manera, la curva equipotencial Eq. B de la figura 7 está definida, en el plano yz, por unos puntos (en y) para los cuales se obtiene el mismo valor de la Comp. Z. En ausencia de acoplamiento, esta curva Eq. B será una recta paralela al eje z; se tendría un valor idéntico de la Comp. Z cualquiera que sea la posición del imán A en la dirección z. En consecuencia, la separación de la curva Eq. B con respecto a una paralela al eje z que pasa por el valor medido en reposo del imán expresa el acoplamiento entre las medidas efectuadas por los detectores C1 y C2.
- Por ejemplo, si se considera una variación de la medida del 100% para un desplazamiento sobre todo un recorrido sobre el eje y del imán permanente A, un desplazamiento sobre el eje z de todo el recorrido del imán puede influir en alrededor de un 20% sobre la medida del campo magnético. En consecuencia, el detector C1 al medir un desplazamiento en la dirección y del imán A está perturbado por el desplazamiento de éste en la dirección z.
- Este acoplamiento puede ser corregido utilizando un algoritmo de desacoplamiento adecuado, utilizando, por ejemplo, unos datos de calibración, obtenidos en presencia de desplazamientos conocidos. El algoritmo utilizado reconstruye numéricamente una imagen teórica de los valores de las componentes del campo magnético medibles por los detectores C1 y C2, llamadas B1th y B2th. El algoritmo utiliza las ecuaciones teóricas que expresan el campo magnético generado por un imán permanente, así como las posiciones en el espacio de los detectores con respecto al imán permanente A en reposo h_{C1} , h_{C2} , l_{C2} . Esta reconstrucción numérica permite crear una matriz que reagrupa los pares de posición mostrados (y, z) y los pares de componentes generados (B1th, B2th) en las posiciones alcanzables por el equipamiento móvil M. En funcionamiento del dispositivo, el algoritmo explota las dos medidas de C1 y de C2 llamadas B1mes y B2 mes de las cuales busca una correspondencia en la matriz, y encuentra finalmente el par (y, z) ideal para la medida efectuada.
- Interesa ahora la variación del campo magnético B_z detectado por el detector C1 en función de los desplazamientos del imán en la dirección y.
- La figura 8 muestra el aspecto de las variaciones del campo magnético sobre el detector C1 en la dirección y según el invento, con z constante. La curva presenta una parte sensiblemente lineal con pequeños valores de y (parte marcada en grueso en la figura 8).
- Se ha buscado la diferencia de linealidad sobre un recorrido en la dirección y del equipamiento móvil M. El gráfico de la figura 8A compara unas medidas experimentales realizadas con el dispositivo descrito con una evolución lineal (recta de regresión), para la variación del campo magnético B_z detectada por el detector C1 en función de los desplazamientos del imán en la dirección y, con z constante.
- Para pequeños valores de y, esta diferencia de linealidad ha sido evaluada con un máximo de alrededor del 0,22% del valor esperado (0,18 G para 80 G). Se deduce que se puede considerar la curva como lineal, y en consecuencia, la variación del campo magnético B_z detectada por el detector C1 en función de los desplazamientos del imán en la dirección y, también como lineal, para pequeños valores de y.
- La figura 11 es un gráfico bidimensional relativo al detector C1, colocado en el punto óptimo ($y = 0$, $z = -1,1$). Ilustra la variación de la componente B_z del campo magnético (en Gauss) en función de la diferencia en la dirección y con respecto a la posición de reposo del imán. En la familia de curvas, cada curva es tomada con un z constante, con unos valores de z de la serie (-1,3, -1,2, -1,1, -1, -0,9). La pendiente es la más pequeña para $z = -1,3$ mm, y crece a continuación con z.
- La figura 12 es un gráfico bidimensional relativo al detector C2, colocado en el punto óptimo ($y = 1,1$, $z = 0,8$). Ilustra la variación de la componente B_y del campo magnético (en Gauss) en función de la diferencia en la dirección z con respecto a la posición de reposo del imán. En la familia de curvas, cada curva es tomada con un y constante, con unos valores de y de la serie (1, 1,05, 1,1, 1,15, 1,2). La pendiente es la más pequeña para $y = 1,2$ mm, y crece a continuación cuando y decrece.
- La figura 12 hace aparecer una zona particular de pequeño tamaño, en la que las curvas crecen, en las cercanías de $z = 0,88$. En este punto, la variación de la posición en y no tiene casi influencia sobre B_y . Esta zona es particularmente interesante, pues se obtiene un desacoplamiento "natural" de la medida de B_y . Se observará que el valor $h_{C2} = 0,8$ mm está cerca.
- La figura 13 muestra una resolución espacial Res (μm) en función de la distancia d_0 (mm) detector-centro O del campo magnético del invento. Se distinguen tres zonas. Una primera zona ZI en la cual las medidas efectuadas son explotables, una segunda zona ZII de seguridad (distancia de seguridad detector-imán) y una tercera zona ZIII no explotable.
- La degradación de la resolución es exponencial según la distancia entre el detector C y el centro O del campo magnético. En otras palabras, cuando más próximo esté el detector del centro O del campo magnético mayor será el gradiente medido.

5 Pero, el imán A tiene una forma física de algunos mm³ (alrededor de 1 mm³ en el ejemplo de la realización), en consecuencia, se mantiene una zona no explotable ZIII en la cual los detectores entrarían en contacto físico con el imán A. Conviene prever, además, una distancia de seguridad para evitar el contacto físico citado anteriormente (zona ZIII). En la práctica esto dependerá del recorrido efectivo del imán A sobre el equipamiento móvil M.

10 Además, la resolución de cada detector depende de varios parámetros y especialmente del ruido del detector. Este ruido depende directamente de la frecuencia del muestreo, a saber, de la rapidez de la medida. En general, se puede admitir que cuanto más larga es la medida, mejor es su resolución. Pero cuanto más larga es la medida, más lenta es la dinámica.

El ejemplo de realización descrito utiliza unos detectores HAL401 con una frecuencia de muestreo de 100Hz.

15 Colocando el detector lo más cerca posible del imán, y respetando la distancia de seguridad del modo de realización, a saber, una distancia de 0,6mm, se obtiene una resolución de 60nm. Colocándolo alrededor de 0,4mm más lejos del imán, a saber, a una distancia de alrededor de 1mm, se obtiene una resolución de 200nm. Se pueden considerar estas distancias como las que definen la zona explotable Z1 según el invento.

20 Un objetivo del dispositivo micro-técnico es el de medir el recorrido del accionador P, o de una manera más precisa, del equipamiento móvil M. Es importante, por lo tanto, obtener una medida sensible de la posición. Generalmente, una resolución de 200nm puede ser considerada como satisfactoria. Para hacerlo mejor, se contemplará una resolución de alrededor de 100nm.

25 Se mantiene el hecho de que cuanto pequeñas son las dimensiones del sistema magnético más importante es el gradiente local. Pero, típicamente, las carcasas de los detectores (2,5 x 4,5x 1,2mm) son bastante grandes con respecto a la zona sensible del detector. Incluido todo, el conjunto de los elementos imán-detectores del dispositivo micro-técnico va a inscribirse espacialmente en una esfera de alrededor de 10mm de radio.

30 El dispositivo micro-técnico del invento está preparado para medir recorridos del equipamiento móvil inferiores o iguales a 1mm.

35 El accionador puede ser un accionador piezoeléctrico, un accionador térmico y/o un accionador electrostático, o incluso un accionador magnético. En este último caso, se minimizarán y/o se compensarán los efectos del accionador magnético sobre los detectores.

Anexo I. Fórmulas.

$$\vec{B} = B_x \cdot \vec{x} + B_y \cdot \vec{y} + B_z \cdot \vec{z} \tag{I}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = \frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} \tag{II}$$

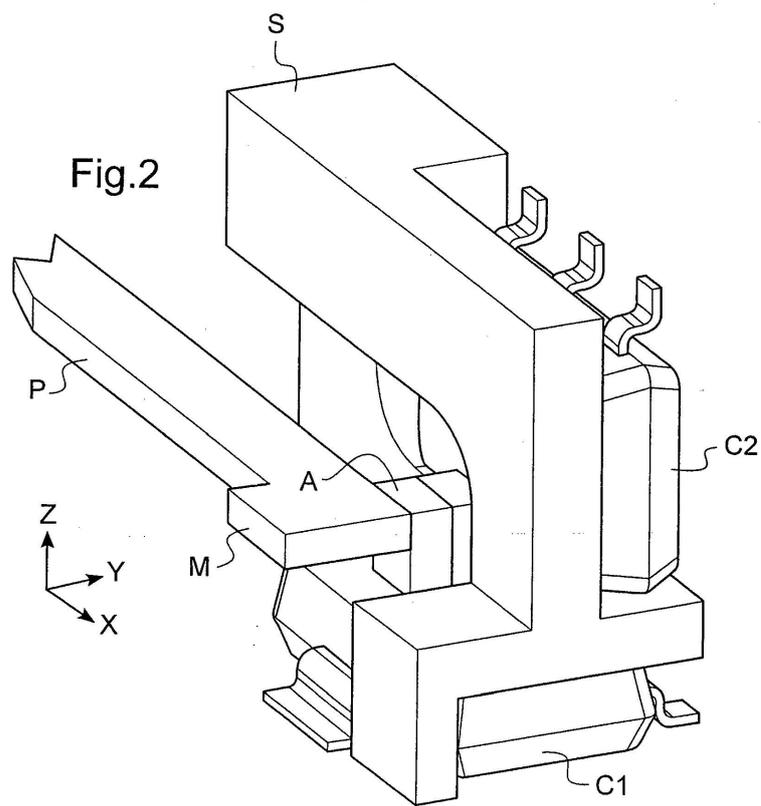
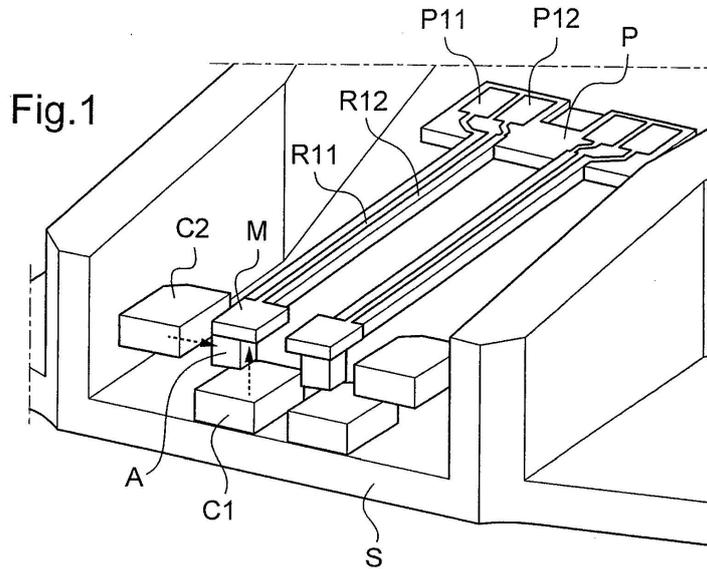
40
$$\overrightarrow{\text{Grad}} B_z = \frac{\partial B_z}{\partial x} \cdot \vec{x} + \frac{\partial B_z}{\partial y} \cdot \vec{y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} \cdot \vec{z} \tag{III}$$

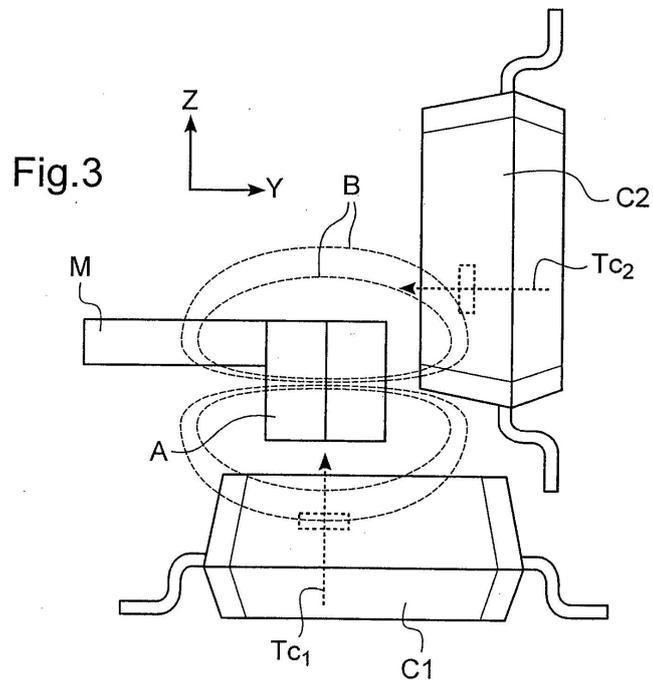
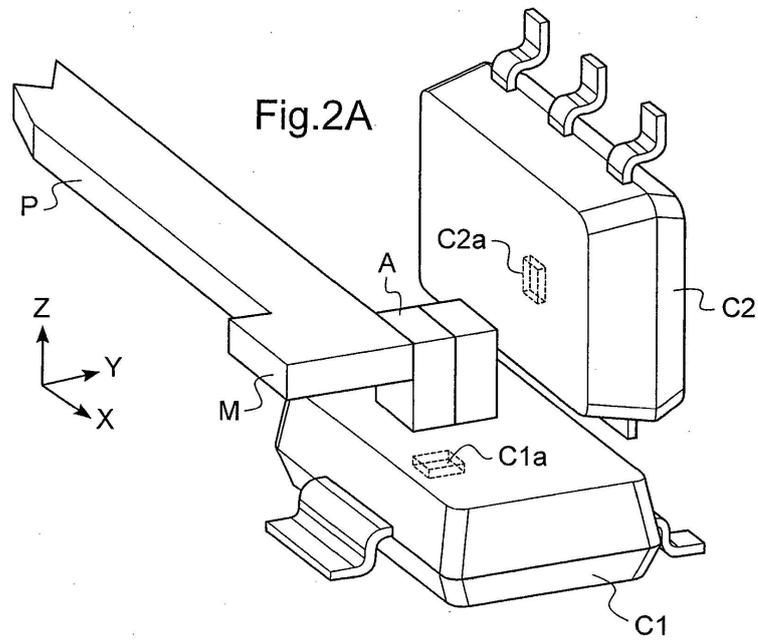
$$\overrightarrow{\text{Grad}} B_y = \frac{\partial B_y}{\partial x} \cdot \vec{x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} \cdot \vec{y} + \frac{\partial B_y}{\partial z} \cdot \vec{z} \tag{IV}$$

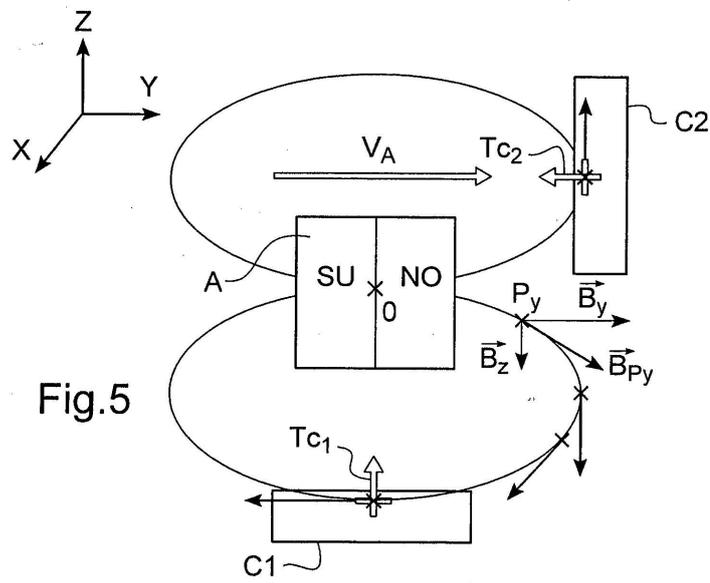
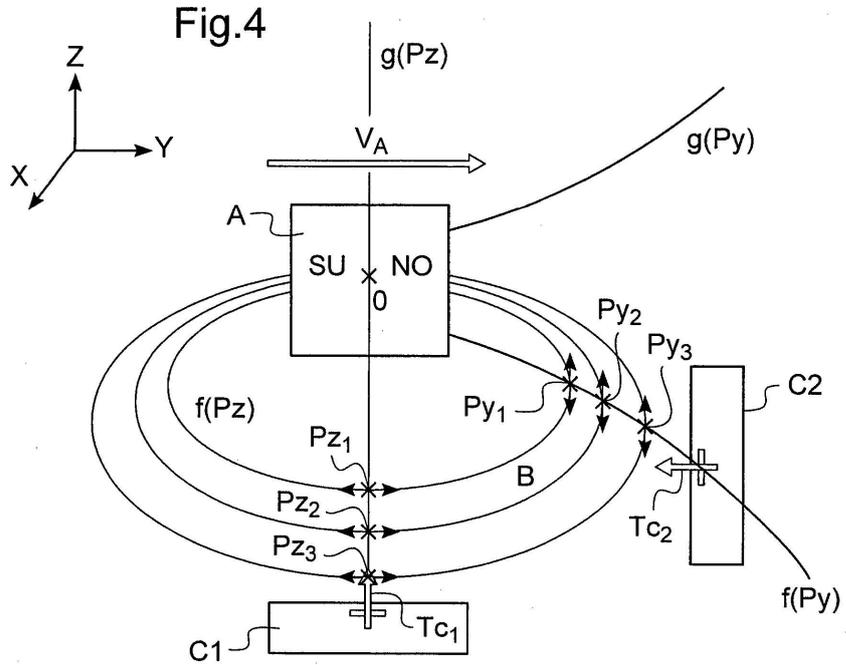
REIVINDICACIONES

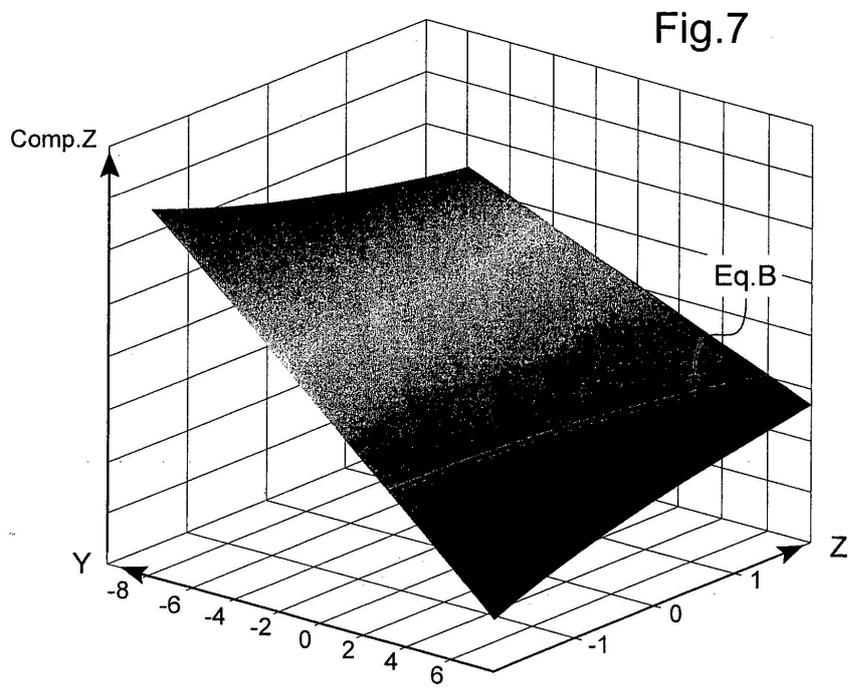
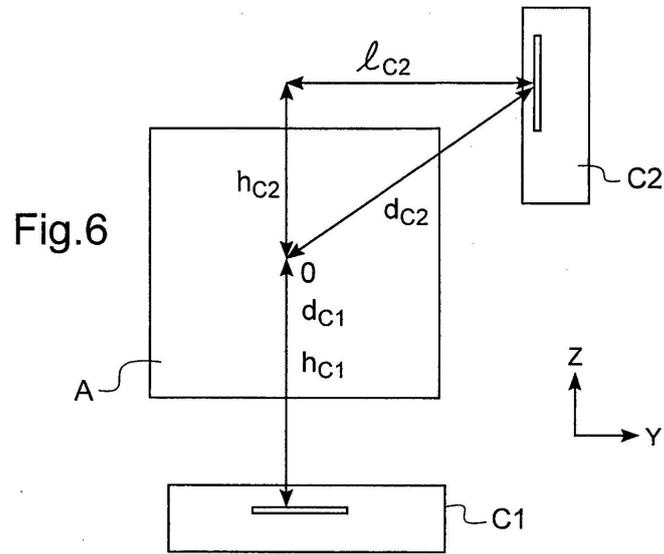
1. Dispositivo micro-técnico, que incluye:

- 5 -un accionador, preparado para desplazar un equipamiento móvil con respecto a un soporte, incluyendo este equipamiento móvil a su vez:
- 10 un primer detector magnético (C1), preparado para detectar un desplazamiento de un imán, en el cual el accionador está preparado para desplazar el equipamiento móvil según dos grados de libertad a partir de una posición de reposo,
- 15 el imán permanente es elegido con una distribución del campo magnético que admite un plano de simetría principal, así como una dirección principal de imantación (V_A) que pasa por el centro (O), el primer detector (C1) está colocado de una manera sensible en el citado plano de simetría principal, a una primera distancia de trabajo del imán, mientras que el eje de trabajo (z) de este primer detector (C1) es sensiblemente perpendicular a la dirección principal de imantación (V_A), y pasa sensiblemente por el centro (O), en la posición de reposo del imán,
- 20 **caracterizado por que** está previsto un segundo detector magnético (C2), colocado sensiblemente en el plano de simetría principal del campo del imán, a una segunda distancia de trabajo del imán, mientras que el eje de trabajo (y) de este segundo detector es sensiblemente paralelo a la dirección principal de imantación (V_A), en la posición de reposo del imán, estando posicionado el segundo detector (C2) en las cercanías de un punto del extremo, por la citada segunda distancia de trabajo, estando situado el citado punto del extremo en un emplazamiento en el cual la componente sobre el eje de trabajo (y) del gradiente (dB_y/dz) de la componente en la dirección principal de imantación (V_A) es máxima, siendo, entonces, el primero y el segundo detectores sensibles a los desplazamientos del equipamiento móvil perpendicularmente a sus ejes de trabajo respectivos.
- 25 2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el cual el primer detector (C1) está posicionado sobre la superficie de una esfera centrada sensiblemente sobre el citado centro (O) y cuyo radio está comprendido entre $500\mu\text{m}$ y $2000\mu\text{m}$, preferentemente comprendido entre $1000\mu\text{m}$ y $1200\mu\text{m}$ e incluso de una manera más preferente sensiblemente igual a $1100\mu\text{m}$.
- 30 3. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el segundo detector (C2) está posicionado sobre la superficie de una esfera centrada sensiblemente en el citado centro (O) y cuyo radio está comprendido entre $500\mu\text{m}$ y $2000\mu\text{m}$ y está preferentemente comprendido entre $1100\mu\text{m}$ y $1500\mu\text{m}$ e incluso de una manera más preferente sensiblemente igual a $1360\mu\text{m}$.
- 35 4. Dispositivo micro-técnico según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el accionador es elegido dentro del grupo constituido por un accionador piezoeléctrico, un accionador térmico, un accionador magnético y/o un accionador electrostático.
- 40 5. Dispositivo micro-técnico según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el equipamiento móvil del citado accionador está preparado para un desplazamiento en traslación del imán con un recorrido comprendido entre $0\mu\text{m}$ y $200\mu\text{m}$ según una dirección (y) paralela a la dirección principal de imantación.
- 45 6. Dispositivo micro-técnico según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la parte móvil del citado accionador está preparada para un desplazamiento en traslación con un recorrido comprendido entre $0\mu\text{m}$ y $400\mu\text{m}$ según una dirección (z) perpendicular a la dirección principal de imantación.
- 50 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que incluye, además, un útil de control numérico capaz de almacenar los parámetros de conversión para pasar las medidas del campo magnético de los detectores a datos de posición del imán y/o del equipamiento móvil.









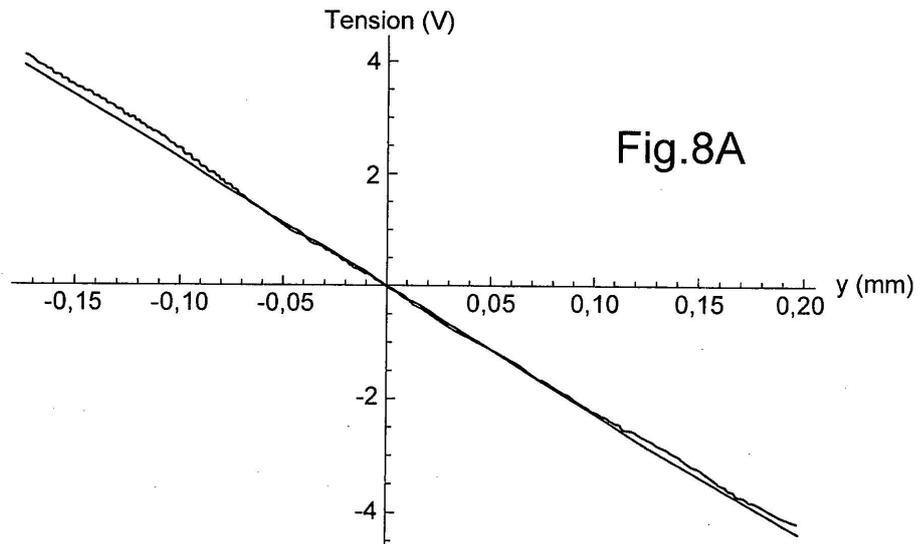
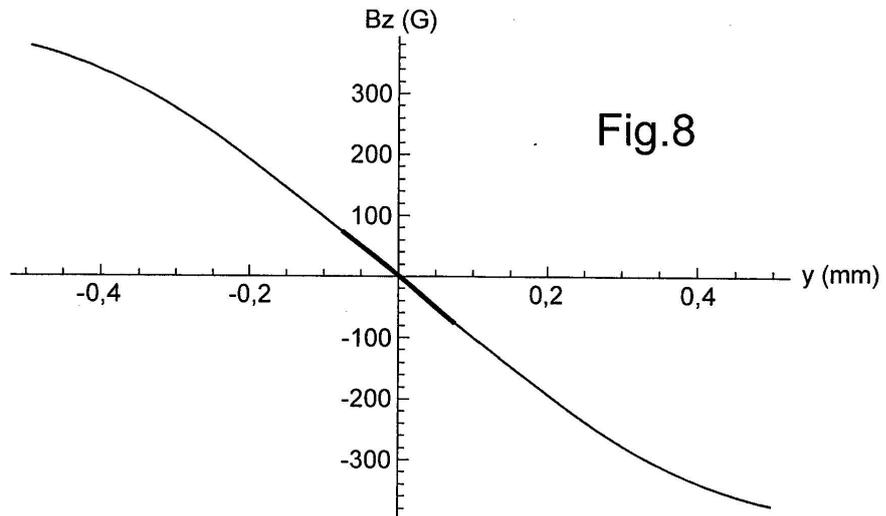


Fig.9

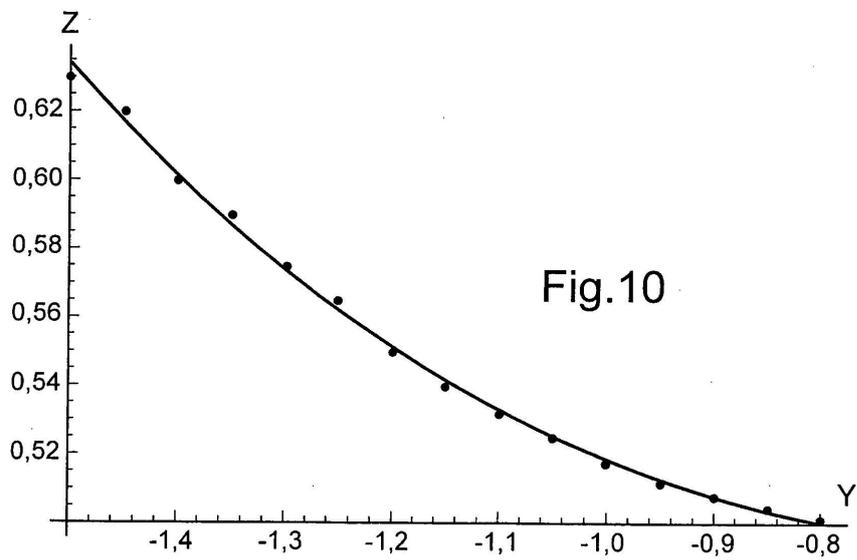
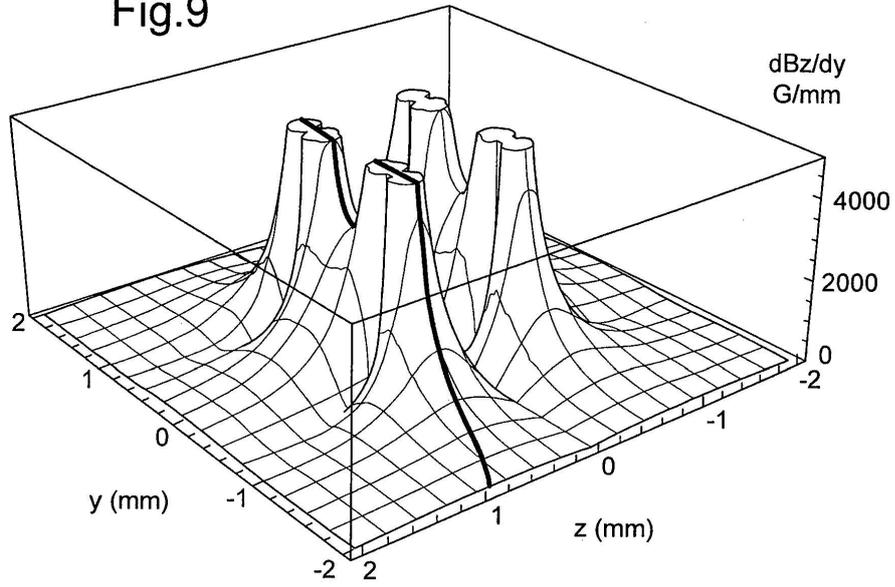
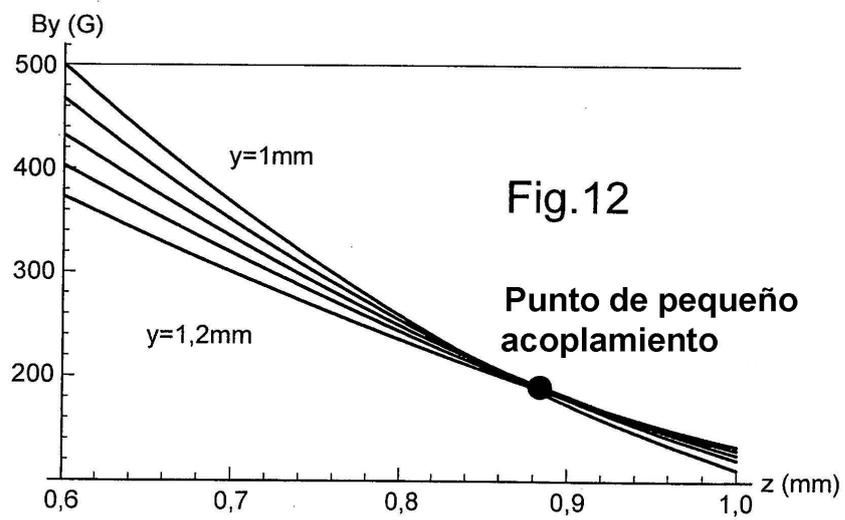
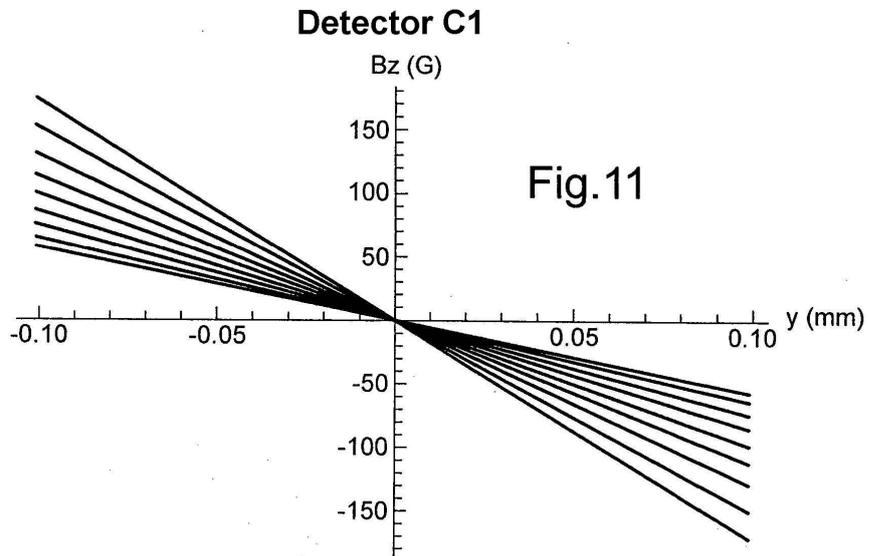


Fig.10



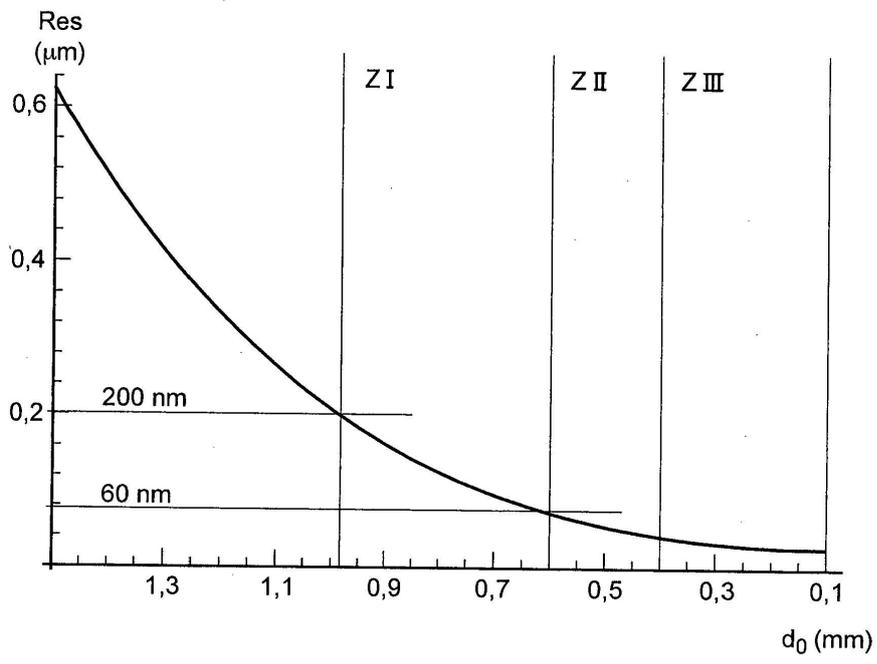


Fig.13