

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 430 949**

51 Int. Cl.:

G01B 7/24 (2006.01)

G01D 5/14 (2006.01)

H01L 41/12 (2006.01)

G01R 33/028 (2006.01)

G01L 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2010 E 10725380 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2013 EP 2430418**

54 Título: **Procedimiento de medición para un sistema sensor**

30 Prioridad:

12.05.2009 DE 102009020960

26.05.2009 DE 102009022751

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

22.11.2013

73 Titular/es:

**MTS SENSORTECHNOLOGIE GMBH CO. KG
(100.0%)**

**Auf dem Schüffel 9
58513 Lüdenscheid, DE**

72 Inventor/es:

KISKER, ERHARD

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 430 949 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

Procedimiento de medición para un sistema sensor

La invención se refiere a un procedimiento para la medición de una de las magnitudes: ángulo de torsión, modificación de la longitud, campo magnético.

5 Existe gran interés en medir un campo magnético, una torsión y/o una modificación de la longitud. Esto se posibilita con el sensor descrito en el documento WO 2007/051589 A2. Sin embargo, todas las tres magnitudes provocan modificaciones de intensidad similar de la señal del sensor, de manera que las magnitudes que no se pueden medir deberían ajustarse a ser posible fijamente o deberían emplearse sensores de referencia para la determinación de las magnitudes a medir y para la corrección de la señal. Hasta ahora no es posible una determinación común de la
10 tensión de torsión y de la tensión de dilatación o bien sus modificaciones en el caso de utilización de un sensor fijo con respecto a ninguna de las magnitudes mencionadas.

El cometido de la invención es hacer que la medición de una o de varias de las magnitudes campo magnético ambiental, dilatación longitudinal y ángulo de torsión, a las que el sensor es sensible principalmente, sea menos propensa a interferencias, en particular a través de modificaciones de las otras magnitudes.

15 Este cometido se soluciona con un procedimiento según la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes contienen formas de realización especialmente favorables del procedimiento de acuerdo con la invención.

Para la medición de al menos una de las magnitudes: ángulo de torsión, modificación de la longitud, campo magnético por medio de un sensor se genera de acuerdo con la invención en una primera sección de conductores de una disposición de conductores de electricidad magnetizables o magnetizados una magnetización dinámica, en particular helicoidal. Esto se realiza, por ejemplo, a través de la aplicación de un campo magnético en la sección de conductores con un vector paralelo a ésta, con preferencia el campo magnético se extiende, en general, lo más paralelo posible a la sección de conductores, y a través de la alimentación de corriente de la sección de conductores con un impulso de corriente. De esta manera, resulta una magnetización, que migra desde la primera sección de conductores hacia una segunda sección de conductores, que presenta una anisotropía especialmente helicoidal. La anisotropía (por ejemplo, un conductor trenzado o un conductor ondulado) posibilita la detección de la magnetización transportada de esta manera por medio de una tensión generada a través de la segunda sección de conductores sobre la base del transporte de la magnetización, que es una medida de la magnitud del ángulo de torsión, de la modificación de la longitud, del campo magnético o una medida mixta de varias de estas magnitudes.

20 Durante la medición, al menos una sección de conductores de la disposición de conductores, en particular toda la disposición de conductores, se expone a un campo magnético modificado en su intensidad de campo magnético y la magnetización dinámica, en particular helicoidal, se determina en al menos dos intensidades de campo magnético diferentes del campo magnético variable. Las al menos dos tensiones obtenidas de esta manera, generadas o detectadas a las diferentes intensidades de campo magnético, se utilizan en común para la formación de la medida de la magnitud del ángulo de torsión, de la modificación de la longitud y/o del campo magnético.

35 La invención posibilita medir también la modificación de todas las tres magnitudes casi al mismo tiempo. Ambas cosas se consiguen a través de la utilización de la dependencia característica del campo magnético de la señal del sensor del estado de cada una de las dos magnitudes mecánicas. El procedimiento se explica aquí a modo de ejemplo para el sensor descrito a continuación, pero se puede aplicar en partes esenciales también en otros sensores, que se basan en la elasticidad magnética.

40 Las ventajas del procedimiento residen, por una parte, en poder utilizar la sensibilidad muy grande del sensor con respecto a modificaciones del campo magnético ambiental, de la tensión de torsión y la tensión de tracción para mediciones precisas, por ejemplo de una de estas magnitudes, evitando o eliminando en gran medida de acuerdo con el procedimiento la sensibilidad para aquellas magnitudes, que no tienen interés en el caso individual. Además, el procedimiento hace posible prescindir de un blindaje magnético, cuando deben medirse una o ambas magnitudes mecánicas. De manera alterativa, se puede reducir el requerimiento del factor de blindaje de un blindaje de campo magnético, lo que reduce sus costes y peso. Además, es posible medir las tres magnitudes mencionadas prácticamente al mismo tiempo con un solo sensor. Esto es económico y economizador de espacio.

A continuación se describe en detalle la invención con la ayuda de figuras. En este caso:

50 La figura 1 muestra la disposición de sensor, que está constituida por el material del sensor (3) representado rayado, los contactos eléctricos A, B, C, D y una boina (4) (figura superior), colocada alrededor del segmento del sensor que se encuentra entre A y B o una bobina (figura inferior) que rodea todo el sensor para la generación del campo magnético de control H_k . En el caso de mediciones de la torsión, se torsiona al menos el segmento del sensor que se encuentra entre C, D. Se alimentan impulsos de corriente (8) a los contactos A, B, después de lo cual aparecen impulsos de señales bipolares (9) en la proximidad de los flancos del impulso de corriente.

La figura 2 muestra la dependencia- $S(H_k)$ (1) con modificaciones representadas de las posiciones de los picos documentados en el caso de una modificación de un campo magnético exterior en torno a ΔH , del ángulo de torsión y de la tensión de tracción en torno a ΔZ . El campo magnético de control se extiende entre H_{\min} y H_{\max} . La señal del sensor ha sido rectificadora. La fase de la señal está opuesta a la derecha y a la izquierda de $H_k = 0$.

5 La figura 3 muestra la agrupación del campo magnético H , que actúa sobre el material del sensor, que está constituida por los componentes del campo magnético de control H_k y del campo magnético ambiental H_u .

La figura 4 muestra las dependencias $S(H_k)$ rectificadas para dos tensiones de tracción diferentes así como las primeras derivadas. El sensor tiene una anisotropía transversal correspondiente H_1 o bien H_2 y una constante de magnetoestricción negativa.

10 La figura 5 muestra la modificación de la separación de los picos $(H'_1 - H'_2) - (H_1 - H_2)$ en el caso de dilatación longitudinal de una banda de sensor $30 \times 1.2 \times 0.02 \text{ mm}$ con anisotropía magnética transversal y constantes de magnetoestricción negativa.

La figura 6 muestra las dependencias $S(H_k)$ rectificadas para diferentes ángulos de torsión, en la que el ángulo se modifica desde positivo (curva 40) hacia negativo (curva 42).

15 La figura 7 muestra la curva de tiempo de los impulsos en los contactos C, D (9) como respuesta al impulso de corriente (8). El ángulo de torsión ha sido modificado.

La figura 8 muestra las dependencias $S(H_k)$ a partir de la integración sobre los primeros 30 ns después del flanco empinado del impulso de corriente de la señal de sensor resuelta en el tiempo. Los parámetros de las curvas comprenden, por ejemplo, una modificación de la torsión que, como se muestra en la figura 9, conducen en la parte del impulso que aparece posteriormente a un cambio de signo de la curva, así como modificaciones de la tensión de tracción.

20

La figura 9 muestra las dependencias $S(H_k)$ a partir de la integración de la señal del sensor resuelta en el tiempo, que aparece 100ns después de uno de los flancos empinados del impulso de corriente. Las curvas (20) y (21) se diferencian por el signo del ángulo de torsión y resultan siempre durante su modificación por separado. Con un ángulo de torsión 0, la curva es prácticamente cero (salvo un fondo pequeño, condicionado en parte electrónicamente).

25

La figura 10 muestra dependencias del tiempo del impulso del sensor (12) (13), que aparece en los contactos C, D como respuesta a los impulsos de corriente (10) y (11) alimentados en A, B, que tienen un tiempo de gradiente diferente. (14) identifica un pico dominante, que se obtiene en el caso de un tiempo de gradiente más largo del impulso de excitación.

30

La figura 11 muestra la dependencia de la señal de sensor resuelta en el tiempo en el caso de un flanco plano del impulso de corriente (11) en la figura 10 para campo magnético de control fijo y modificación del ángulo de torsión ((14),(15)) así como elevación de la tensión de tracción ((15), (16)).

La figura 12 muestra una señal de sensor amplificada por medio del circuito de resonancia-LC en el caso de un flanco plano optimizado del impulso de corriente, como función del ángulo de torsión, medido con un campo magnético óptimo. No se ha restando un fondo electrónico. El ángulo de torsión 0 corresponde al sensor plano. El material del sensor era una banda de Vitrovac 6025F con dirección de magnetización ligera perpendicularmente a la dirección longitudinal del sensor (figura 1).

35

La figura 13 muestra una curva de histéresis de la señal del sensor para Vitrovac 6025F como función del ángulo de torsión en la zona del mínimo (90) de la figura 12 (pero otra medición)

40

La disposición de sensor del documento WO 2007/051589 A2 utiliza con preferencia aleaciones amorfas o nanocristalinas magnéticas blandas, cuya selección se ajusta a los criterios de medición. Si deben medirse también tensiones de tracción, se utiliza como material del sensor con preferencia una aleación, que posee una constante magnetoestrictiva negativa así como una dirección de magnetización ligera transversalmente al eje longitudinal del sensor. Por ejemplo, las aleaciones atemperadas en el campo magnético transversal son Vitrovac 6025, 6030 y 6155. El sensor está constituido por una banda estrecha (que puede ser también un alambre) de estos materiales con un espesor condicionado por la fabricación de aproximadamente $20 \mu\text{m}$, que está provista, como se describe en el documento WO 2007/051589 A2, con cuatro contactos A, B, C, D (figura 1), siendo alimentados en los contactos A, B impulsos de corriente unipolar o bipolar (8), con preferencia unipolar. Como respuesta a los flancos de los impulsos de corriente aparecen en cada caso impulsos de señales bipolares, que representan la señal primaria del sensor (9) y cuya amplitud, fase y comportamiento de tiempo depende de múltiples maneras de las magnitudes campo magnético ambiental, dilatación longitudinal y ángulo de torsión. En el caso más sencillo, la señal primaria del sensor es amplificada y rectificadora de una manera no específica, de manera que se pierde también la información directa de las fases (signo de los impulsos de señales). Mientras que la señal del sensor medida sensible a las fases

45

50

en el caso de un ángulo de torsión cero desaparece prácticamente para cada campo magnético y dilatación longitudinal y aparece de nuevo después del punto de anulación con fase opuesta, la señal rectificadora muestra un mínimo como signo del punto de anulación. La figura 2 muestra una dependencia medida de esta manera de la señal del sensor (S) respecto de un campo magnético de control (H_k) (2), que se superpone al sensor (dependencia- $S(H_k)$) (1) para un material de la composición nominal $Co_{70}/Si+B_{23}/Mn_5/Fe+Mo_2$ para un ángulo de torsión de 45° . Posee una estructura típica de doble pico, en la que ambos picos $A_1(60)$ y $A_2(61)$, pueden poseer alturas muy diferentes, pero están simétricos a $H_k=0$, si no está presente otro campo magnético. Ya la curva medida de esta manera con electrónica muy sencilla contiene amplia información sobre el estado del sensor con respecto al estado magnético mecánico, mientras que el análisis del comportamiento de tiempo de los impulsos de la señal (9) contiene otras informaciones que pueden ser evaluadas de la misma manera, pero con electrónica más compleja. Los valores del campo magnético H_1 y H_2 , que pertenecen a los picos $A_1(60)$ y $A_2(61)$, sobre el eje H_k corresponden en el estado distendido del sensor ($\Delta L = 0$, (31)) en buena aproximación al campo magnético de anisotropía del material, de manera que a través de la selección del material del sensor es posible una adaptación a requerimientos especiales. Valores típicos de H_1 son 1-10 Oe (Oerstedt). El desarrollo principal de la curva es similar para todos los materiales investigados, pero los picos pueden estar fusionados sobre una única estructura en el entorno de $H_k = 0$, en particular en el caso de materiales "fundidos". La tensión de tracción α está enlazada con la modificación de la longitud ΔL (31) a través de la Ley de la elasticidad, de manera que ésta se puede determinar a partir de ella. El campo magnético de control (H_k) (2) se puede generar por medio de una bobina (4) (figura 1), que solamente rodea la parte AB del sensor (3) o todo el sensor. La dependencia $S(H_k)$ se diferencia en ambos casos, lo que no es considerable, sin embargo, para el funcionamiento del procedimiento. No obstante, la mayor exactitud se consigue cuando la bobina rodea todo el sensor. De la misma manera, la torsión se puede extender sobre todo el sensor o solamente sobre la parte dispuesta entre C, D, lo que puede conducir de la misma manera a diferentes dependencias $S(H_k)$ y a diferente dependencia de la forma de las curvas respecto de la torsión.

Para un material predeterminado, la dependencia $S(H_k)$ se modifica de una manera característica en el caso de modificaciones de las magnitudes campo magnético ambiental (H_u) (5), ángulo de torsión α (30) y tensión de tracción σ o bien modificación de la longitud ΔL (31). La modificación de una de las tres magnitudes campo magnético ambiental (H_u) (5), ángulo de torsión α (30) y longitud ΔL (31) durante la fijación de las otras dos provoca las siguientes modificaciones de la dependencia $S(H_k)$ (1) (ver también la figura 2):

- a) Modificación del campo magnético ambiental (H_u) (5): desplazamiento congruente de la dependencia $S(H_k)$ (1) forma de la curva inalterada.

Para la magnetización de material del sensor, el campo total H (6) que resulta a partir de (H_k) (2) y H_u (5) es decisivo (ver la figura 3). Si se modifica H_u (5) y ΔH , entonces se desplaza la dependencia $S(H_k)$ de manera congruente en la medida $-\Delta H$. Los picos dominantes en la dependencia $S(H_k)$ están en $H_1'(H_u)=H_1-\Delta H$ y $H_2'(H_u)=H_2-\Delta H$, es decir, que la distancia entre los picos se mantiene inalterada. El campo magnético ambiental $H_u = \Delta H$ da como resultado $\Delta H = 1/2 (H_1' + H_2')$, puesto que $H_2 = -H_1$.

- b) Modificación del ángulo de torsión: Las amplitudes A_1 (60), A_2 (61) de los dos picos característicos se modifican, en general, en importes diferentes para dar lugar a $A_1'(\alpha)$ y $A_2'(\alpha)$, mientras que H_1 y H_2 en buena aproximación permanecen inalterados (figura 6). La forma de la curva se modifica igualmente de forma clara.

- c) Modificación de la longitud en torno a ΔL (31): Se modifican las posiciones de los picos sobre el eje H_k desde H_1, H_2 hasta $H_1'(\sigma), H_2'(\sigma)$. Esto se realiza en buena aproximación simétricamente a $H_k = 0$ (figura 4). Además, se modifican las amplitudes de los picos de A_1, A_2 a $A_1'(\sigma), A_2'(\sigma)$. A partir de la diferencia de las distancias entre los picos $\sigma H_k(\sigma) = |H_1'(\sigma) - H_2'(\sigma)| - |H_1 - H_2|$ antes y después de la modificación de la tensión de tracción sigue para su modificación $\Delta\sigma = k(\sigma) * (|H_1'(\sigma) - H_2'(\sigma)| - |H_1 - H_2|)$. El parámetro $k(\sigma)$ es independiente de σ en el caso de que la tensión de tracción no sea demasiado grande. La tensión de tracción σ aparece en el caso de dilatación o aplastamiento del material del sensor con respecto a su longitud L_0 en el estado expandido y depende en la región elástica según la relación $\sigma = E * \Delta L / L_0$ de la modificación de la longitud ΔL , siendo E el módulo de elasticidad. La dilatación longitudinal (31) da como resultado $\Delta L = k'(\Delta L) * (|H_1'(\sigma) - H_2'(\sigma)| - |H_1 - H_2|)$ con el parámetro correspondiente $k'(\Delta L)$. Una calibración de k o bien k' con la ayuda de datos de medición para dilataciones conocidas puede ser necesaria para mediciones exactas. La figura 5 muestra la modificación de la separación de los picos en el caso de una dilatación longitudinal que aparece aproximadamente a 0,07 mm, partiendo desde el estado distendido. La modificación de la distancia de los picos está correlacionada con la constante de magnetoestricción del material, de manera que incluso de acuerdo con la relación conocida entre la tensión de tracción, la constante de magnetoestricción del material del sensor y su intensidad de campo de anisotropía transversalmente a la dirección longitudinal según el documento US 7.375.513 B2, se puede determinar en términos absolutos la modificación de la longitud.

En el caso de materiales con constantes de magnetoestricción insignificadamente pequeñas, la modificación de la

separación de los picos en el caso de una modificación longitudinal es de la misma manera insignificamente pequeña, sin embargo el estiramiento del sensor de manifiesta en una reducción de las amplitudes punta.

La dependencia $S(H_k)$ en conjunto, especialmente en el caso de utilización de materiales con constante de magnetoestricción no insignificante, se puede utilizar, por lo tanto, para la determinación del estado de magnetización, de torsión y de dilatación del sensor. No obstante, para el caso de la fijación mecánica de uno de los dos grados de libertad mecánicos, es suficiente utilizar solamente algunos rasgos característicos de la dependencia $S(H_k)$ (1). Como tales pueden servir los valores del campo magnético H_1 y H_2 , en los que los dos picos dominantes se encuentran sobre el eje H_k , así como sus amplitudes A_1 y A_2 . Las modificaciones descritas de estos dos rasgos característicos de la dependencia $S(H_k)$ (1) permiten la separación de la influencia del campo magnético respecto de la influencia del ángulo de torsión o de la tensión de tracción. Puesto que una modificación de las amplitudes aparece tanto en el canto de modificación de la tensión de tracción como también en el caso de torsión, mientras que la distancia entre los picos sobre el eje H_k es en buena aproximación independiente de la torsión, solamente se puede determinar una modificación del ángulo de torsión a partir de las amplitudes A_1 (60) y/o A_2 (61), cuando el sensor está fijo con respecto a la dilatación longitudinal. Una modificación de la longitud que tiene lugar al mismo tiempo se puede tener en cuenta en el cálculo con efecto de corrección en ciertos límites a través de una determinación tabulada de las amplitudes A_1 (60) y/o A_2 (61) como función de la dilatación longitudinal. A la inversa, no es absolutamente necesaria una fijación precisa del grado de libertad de torsión axial para la medición de la tensión de tracción. Sin embargo, el ángulo de torsión debe ser $\neq 0$, puesto que de lo contrario la señal del sensor es esencialmente de la misma manera cero, independientemente del campo magnético y de la tensión de tracción, y debería fijarse aproximadamente en el valor necesario para la altura máxima de la señal. El ángulo de torsión óptimo depende del material del sensor. Se puede prescindir de tal torsión previa cuando se ha impreso una anisotropía helicoidal en el material del sensor a través de tratamiento de otro tipo (por ejemplo, a través de atemperación de la corriente en el campo magnético aplicado). En este caso, el sensor puede permanecer plano, lo que es ventajoso para la fabricación.

Un procedimiento de medición para la determinación simultánea del campo magnético ambiental H_u , de la tensión de tracción σ o bien de la dilatación longitudinal ΔL y del ángulo de torsión α se puede realizar de la siguiente manera: La dependencia $S(H_k)$ (1) o bien una de sus derivadas se miden de forma repetida y más rápida que se modifican las magnitudes H_u , ΔL , α . Esto se puede realizar muy rápidamente con la ayuda de procesadores de señales y de lógica programable (FPGA), limitado por la inductividad y la resistencia de la bobina (4) incluyendo las líneas de alimentación. La curva es evaluada constantemente en lo que se refiere a las posiciones de los picos H_1 y H_2 así como para mediciones de la torsión con respecto a sus amplitudes A_1 y A_2 y a partir de ello se determinan, como se ha descrito anteriormente, las magnitudes a medir. Puesto que la forma de la dependencia $S(H_k)$ es diferente para cada torsión y para cada tensión de tracción (ver las figuras 4 y 6), a través de la comparación de otros rasgos característicos (por ejemplo de un pico A_3 que aparece en la proximidad de $H_k = 0$ con torsión (figuras 4 y 6) en la dependencia $S(H_k)$ rectificadas (lo que puede corresponder a un mínimo en la curva representada en fase correcta) o finalmente en toda la dependencia $S(H_k)$ con valores de referencia o bien curvas de referencia, se puede determinar el estado magnético mecánico del sensor, pero bajo la influencia de la magnetización alterna como consecuencia de los impulsos de la corriente. Por lo tanto, no es necesario un blindaje magnético para mediciones de la modificación de la torsión y de la modificación longitudinal, pero se puede añadir para la mejora de la exactitud de la medida o para la limitación de la zona variable de la intensidad del campo magnético de control.

El procedimiento descrito se basa en variar el campo magnético de control entre un valor negativo suficientemente grande y un valor positivo suficientemente grande, para detectar tanto el pico dominante izquierdo (60) como también el pico dominante derecho (61) de la dependencia $S(H_k)$ (1) bajo la influencia de un campo magnético ambiental H_u . Esto requiere una cierta energía. Sin embargo, existe la posibilidad de reducir la necesidad de energía. Esto se puede conseguir a través de la utilización de dos sensores de materiales con diferentes constantes de magnetoestricción y/o con diferentes intensidades de campo de anisotropía. En lugar del pico izquierdo y del pico derecho de un único material sobre el eje H_k , se pueden utilizar entonces los picos de los dos materiales, que se encuentran en un lado del eje H_k para la determinación de las tres magnitudes H_u , σ , α . Los valores H_k de los dos picos son $H_1 = H_{1,0} + a\Delta L + \Delta H_u$ y $H_2 = H_{0,2} + b\Delta L + \Delta H_u$, en la que $H_{1,0}$ y $H_{0,2}$ son los valores H_k determinados a través de los campos de anisotropía transversal de los dos materiales en el estado distendido o bien en un estado de referencia de partida y a, b son las constantes de proporcionalidad entre la dilatación longitudinal y el desplazamiento de los picos dominantes sobre el eje H_k en el caso de modificación de la tensión de tracción. Puesto que a, b se conocen como propiedad del material o bien se pueden determinar, las dos incógnitas ΔL y ΔH_u se pueden determinar en las dos ecuaciones anteriores. Así, por ejemplo, H_k solamente tiene que variarse en la zona de los dos picos para un signo determinado del campo magnético de control, teniendo en cuenta la zona admisible de la modificación del campo magnético ambiental. Por medio de un imán permanente se puede predeterminar un campo magnético básico en la proximidad de los dos valores H_1 , de manera que el campo magnético de control solamente debe variarse en una zona relativamente pequeña. De este modo, se puede reducir el gasto de energía y se puede elevar la velocidad máxima de medición. Como imán permanente para el ajuste de un campo magnético básico ha dado buen resultado un alambre magnetizado más fino de 15 mm de largo, que se coloca en un lugar óptimo para la señal del sensor. Se ha observado que de esta manera se consigue tanto una alta sensibilidad de la

señal con respecto a las modificaciones de la torsión como también una fuerte reducción de la influencia del campo magnético ambiental.

5 Además de la posibilidad general de la determinación de las magnitudes H_u , α , ΔL por medio de la evaluación repetida de la dependencia (del campo magnético de control) de la señal, el conocimiento de la dependencia H_k del sensor actual ofrece la posibilidad de la optimización de procedimientos de medición más sencillos para la determinación de una o varias de las magnitudes H_u , α , ΔL , midiendo solamente la señal del sensor con valor fijo del campo magnético de control, sin la determinación de la dependencia $S(H_k)$ (1). Para mediciones de la torsión se puede medir a tal fin la altura de uno o ambos picos (60) o (61), sobre la que se ajusta fijamente el campo H_k . Si se
10 ajusta H_k a un valor para el máximo de uno de estos picos, las variaciones pequeñas de la posición de los picos sobre el eje como consecuencia de las modificaciones del campo magnético ambiental o de las modificaciones de la tensión de tracción no repercuten o sólo en una medida insignificante sobre la altura de la señal, puesto que el gradiente de la dependencia $S(H_k)$ es allí cero. En el caso de modificaciones previsibles mayores de estos parámetros se puede corregir H_k dinámicamente con respecto a las modificaciones del campo magnético ambiental o de la tensión de tracción.
15

La modificación longitudinal se determina en el caso más sencillos a través de la medición de la amplitud de la señal durante el ajuste de H_k por medio de una bobina (4) a travesada por la corriente o de un imán permanente a un valor diferente de H_1 o H_2 . La sensibilidad es máxima en la proximidad del gradiente máximo de la dependencia (del campo magnético de control) de la señal. Un desplazamiento del pico como consecuencia de una modificación del campo magnético ambiental se puede corregir a través de la medición del mismo, por ejemplo, con el mismo sensor y el seguimiento del campo magnético de control. En cierta medida, se puede prescindir del seguimiento dinámico del campo magnético de control, teniendo en cuenta por cálculo el desplazamiento de la dependencia $S(H_k)$ (1).
20

También el desarrollo temporal del impulso individual de la señal del sensor (9) como respuesta al impulso de la corriente de excitación (8) depende del estado del material del sensor con respecto a H_u , α , ΔL . El impulso de la señal (9) contiene muchas ondas armónicas superiores, cuyas dependencias individuales del estado del sensor son diferentes y se pueden evaluar de la misma manera. Esto se refiere también a componentes resueltos en el tiempo del impulso del sensor. La estructura temporal del impulso de la señal del sensor está marcada por oscilaciones con diferentes frecuencias. Depende de una manera compleja de las magnitudes H_u , α , ΔL . La figura 7 muestra esto a modo de ejemplo para dos componentes de la señal en tiempos diferentes, con respecto al flanco del impulso de la corriente, con H_k fija (ésta se ajusta a la señal máxima) y el material VC 6025F. El tiempo de subida del impulso de la corriente era 50 ns. La componente (80) que aparece en primer lugar temporalmente se modifica en la zona de torsión negativa (con respecto a la alineación plana, $\alpha = 0$) con torsión de $\alpha = -20^\circ$ a -4° muy fuertemente, mientras que las oscilaciones posteriores de la señal (81) sólo se modifican en este caso un poco. Por otra parte, en la zona de torsión positiva ($\alpha > 0$), la primera componente (80) solamente se modifica todavía en una medida insignificante, mientras que las componentes posteriores (81) se modifican aquí muy fuertemente y alcanzan ya un máximo con $\alpha \sim 90^\circ$. También la dependencia del campo magnético de las componentes del impulso de la señal resueltas en el tiempo es muy diferente. Esto se muestra en las figura 8 y 9. En la figura 8 se ha integrado la señal del sensor resuelta en el tiempo sobre los primeros 30ns después del flanco del impulso de corriente y se ha medido como función de H_k , de la torsión y de la tensión de tracción. La dependencia del campo magnético es muy fuerte, en cambio la dependencia sobre las modificaciones mecánicas es muy reducida. En la figura 9 se ha medido la señal del sensor que aparece posteriormente, más de 100 ns después del flanco del impulso de la corriente. Esto muestra una dependencia muy fuerte del campo magnético, del ángulo de torsión y de la tensión de tracción. La estructura temporal de la señal del sensor se puede aprovechar de una manera selectiva para determinadas tareas de medición, evaluando de forma separada por medio de un procesador de señales determinadas componentes temporales del impulso de la señal.
25
30
35
40
45

Otra magnitud importante es el tiempo de gradiente (para el tiempo de caída se aplica de forma similar) de los impulsos de corriente (8) de excitación. Si éste es pequeño ($<$ aproximadamente 30 ns), entonces aparecen oscilaciones grandes del impulso de la señal (98), cuyos componentes individuales seleccionados temporalmente tienen, como se ha descrito anteriormente, diferentes sensibilidades con respecto a las magnitudes H_u , α , σ . Como se ha descrito, la sensibilidad máxima a la torsión en este ejemplo se alcanza aproximadamente 100 ns después del flanco de los impulsos de excitación alimentados en A, B (figura 7). Desde el punto de vista de la técnica de la medición, más fácil que evaluar la estructura temporal del impulso de la señal es suprimir las componentes rápidas de la señal (80) desde el principio a través de un tiempo de gradiente más largo ajustado de manera correspondiente de los impulsos de corriente. La figura 10 muestra en las curvas (12) y (13) el resultado. En el caso de un flanco suficientemente plano (11), se suprimen las oscilaciones que aparecen rápidamente y en lugar de muchas oscilaciones en todo el desarrollo del impulso de la señal, se consigue esencialmente un impulso (14) más ancho, que se puede procesar a continuación con una anchura de banda de amplificación relativamente reducida. La figura 12 muestra la dependencia del desarrollo temporal del impulso de la señal en el caso de un flanco plano del impulso de la corriente para modificaciones de la tensión de tracción y de la torsión con campo magnético de control fijo (aproximadamente 1 Oe). En el caso de torsión, se modifica la altura del pico, en el caso de tensión de tracción se modifica la posición sobre el eje H_k . A través de la selección adecuada del tiempo de gradiente del impulso de
50
55
60

corriente se puede conseguir también que se desplace la posición del pico sobre el eje de tiempo en el caso de modificación de la torsión. Los impulsos de la señal, que aparecen durante el flanco descendente del impulso de la corriente, muestran características similares a las descritas anteriormente para el flanco ascendente.

5 La reducción, implicada con el aplanamiento de los flancos del impulso, de las oscilaciones rápidas del impulso de la señal, también en la zona que está más alejada en el tiempo de los flancos, se debe posiblemente a que determinadas excitaciones del sistema de rotación solamente son generadas en flancos rápidos, eventualmente en el sentido de la previsión de L. Berger: L. Berger, J. Appl. Phys, 71, 2721 (1992).

10 Las oscilaciones (12) que aparecen inmediatamente después de los flancos rápidos del impulso, figura 10, se pueden seleccionar cortando suficientemente los impulsos de la corriente. Esto va unido naturalmente con una reducción de la necesidad de potencia para el funcionamiento del sensor.

15 Un método experimental muy sencillo para la medición de H_u , α , ΔL resulta a través del acoplamiento de la señal de sensor (9) de baja impedancia con la ayuda de un transformador de alta frecuencia en un circuito de resonancia-LC de alta calidad y la utilización de la sobreelevación de la resonancia para la amplificación de la señal. La señal del sensor rectificadora con un amplificador con alta impedancia de entrada (para la prevención de una carga del circuito de resonancia) y con el rectificador activo (AD8361) se muestra en la figura 11 como función del ángulo de torsión. Las oscilaciones rápidas han sido reducidas de acuerdo con las formas de realización anteriores por medio de una pendiente de los flancos seleccionada de manera óptima. Con esta estructura de medición sencilla se puede conseguir una sensibilidad muy buena del sensor para las tres magnitudes H_u , α , ΔL . En el caso de una adaptación óptima de la duración del impulso, la frecuencia y la pendiente de los flancos (el flanco ascendente y el flanco descendente del impulso de la corriente tienen diferentes influencias) aparece en el circuito de resonancia en buena aproximación una oscilación sinusoidal, cuya amplitud y posición de las fases reflejan las simetrías características de las fases de los impulsos directos de la señal con respecto al campo magnético y al ángulo de torsión, es decir, que tanto un cambio de polaridad del campo magnético $H(6)$ como también una modificación del signo de la torsión modifican el signo de la señal del sensor. El segundo mínimo (90) de un sensor, que aparece con un ángulo de torsión grande, a partir del material Vitrovac 6025F, que ha sido retorcido en toda su longitud, es decir, desde A hasta D (figura 11), se caracteriza por histéresis insignificante en el caso de modificaciones de la torsión (lo que es necesario para muchas aplicaciones). En este mínimo tiene lugar de la misma manera una inversión de las fases de la señal del sensor.

30 El procedimiento presentado aquí o partes convenientes del mismo se pueden utilizar también tanto para la disposición de sensor descrita aquí según el documento WO 2007/051589 A2 como también para otros sensores para campos magnéticos y tensiones mecánicas (modificación de la longitud y torsión) sobre la base de la elasticidad magnética o bien de la elasticidad magnética inversa y una intensidad del campo magnético de anisotropía. A ello pertenecen aquellos sensores, que se basa en el efecto "Giant Magneto Impedance" y en el efecto Procopiu (también llamado efecto inverso de Wiedemann). Ambos efectos se observan también en el sensor descrito en el documento WO 2007/051589 A2. Así, por ejemplo, se ha encontrado que el desarrollo temporal de los impulsos de la tensión en los contactos A, B como respuesta a los impulsos de la corriente depende igualmente de la torsión, del campo magnético y de la tensión de tracción, sin embargo, en forma menos marcada que la señal que aparece en C, D. Esta dependencia se puede utilizar de manera relativamente sencilla como complemento a la evaluación de los impulsos de la señal que aparecen en C, D, puesto que la señal está presente de todos modos. También una señal inductiva de una bobina arrollada alrededor del segmento C, D depende de las magnitudes de la torsión, campo magnético y tensión de tracción. Sin embargo, la ventaja del procedimiento descrito aquí se basa precisamente en que no se necesita ninguna bobina para la generación del impulso de la señal y, por lo tanto, se suprimen sus inconvenientes como complicación constructiva y limitación de la dinámica temporal como consecuencia de la inductividad de la bobina.

45

50

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la medición de al menos una de las magnitudes

- ángulo de torsión (30),
- modificación de la longitud (31),

5 - campo magnético (5)

por medio de un sensor (3), en el que en una primera sección de conductores (AB) de una disposición de conductores (AD) conductora de electricidad magnetizable o magnetizada, se genera una magnetización dinámica, en particular helicoidal,

10 - en el que una magnetización es transportada desde la primera sección de conductores (AB) hasta una segunda sección de conductores (CD), que presenta una anisotropía (α) en particular helicoidal, de la disposición de conductores (AD),

- en el que la magnetización transportada es detectada por medio de una tensión (9) generada a través de la segunda sección de conductores (CD) en virtud del transporte de la magnetización,

15 - en el que la tensión (9) detectada es una medida de la magnitud del ángulo de torsión (30), de la modificación de la longitud (31), del campo magnético (5) o una medida mixta de varias de estas magnitudes,

- en el que al menos una sección de conductores (AB) de la disposición de conductores, en particular toda la disposición de conductores (AD), está expuesta a un campo magnético (2) modificado en su intensidad de campo magnético,

20 - en el que la magnetización dinámica, en particular helicoidal, se realiza cuando existen al menos dos intensidades de campo magnético diferentes del campo magnético (2) variable,

- en el que las al menos dos tensiones (9) generadas y detectadas en las diferentes intensidades de campo magnético se utilizan conjuntamente para la formación de la medida de la magnitud del ángulo de torsión (30), de la modificación de la longitud (31) y/o del campo magnético (5).

25 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque las al menos dos intensidades diferentes del campo magnético (2) variable son generadas con las magnetizaciones dinámicas, en particular helicoidales, correspondientes dentro de un periodo de tiempo predeterminado.

30 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque para la formación de la medida de la magnitud del ángulo de torsión (30), de la modificación de la longitud (31) y/o del campo magnético (5) se utiliza un desarrollo de la curva (1) de una pluralidad de tensiones detectadas en función del campo magnético (2) modificado.

4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la magnetización dinámica, en particular helicoidal, es generada en la primera sección de conductores a través de la superposición de dos campos magnéticos.

35 5.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el campo magnético variable (2) es generado longitudinalmente al menos con respecto a la sección de conductores de la disposición de conductores.

6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las al menos dos intensidades diferentes del campo magnético (2) variable son generadas entre dos valores límites (H_{\min} y H_{\max}) predeterminados, que tienen especialmente signos diferentes.

40 7.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la magnetización dinámica, en particular helicoidal, es generada a través de un impulso de tensión aplicado en la primera sección de conductores.

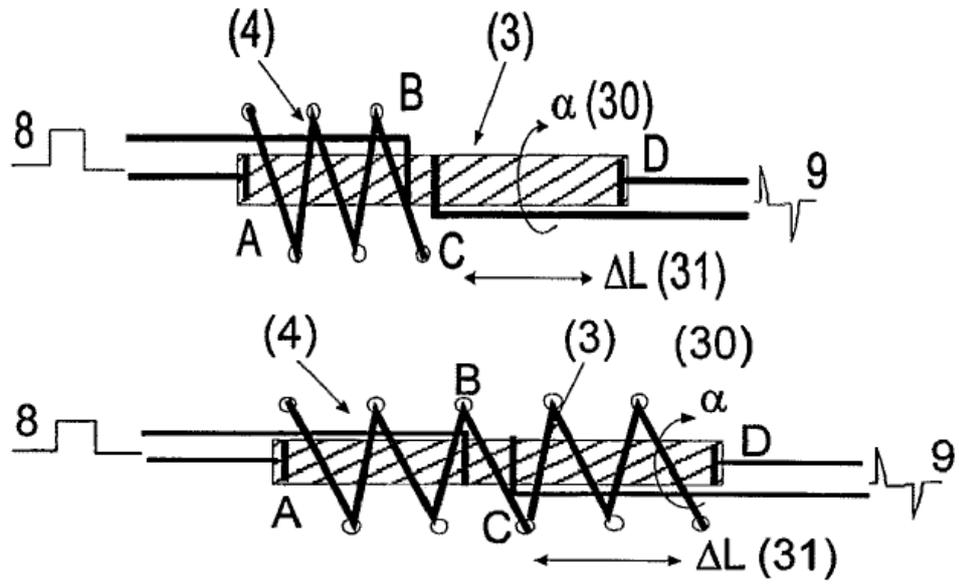


Fig. 1

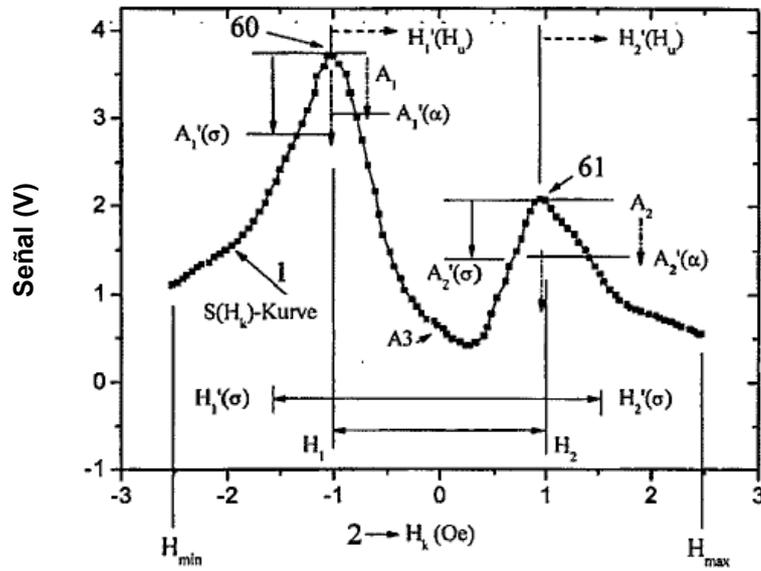


Fig. 2

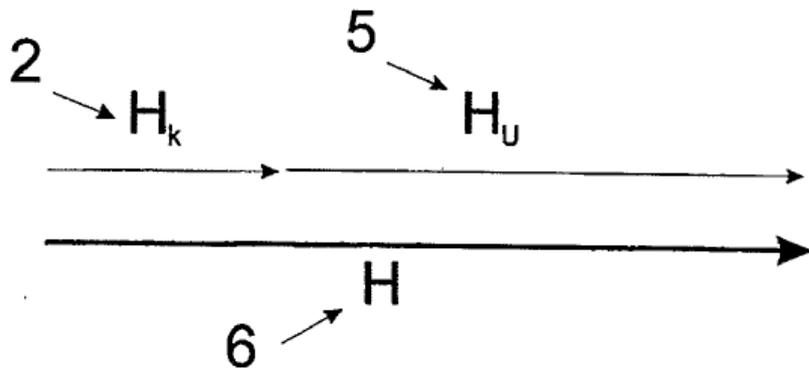


Fig. 3

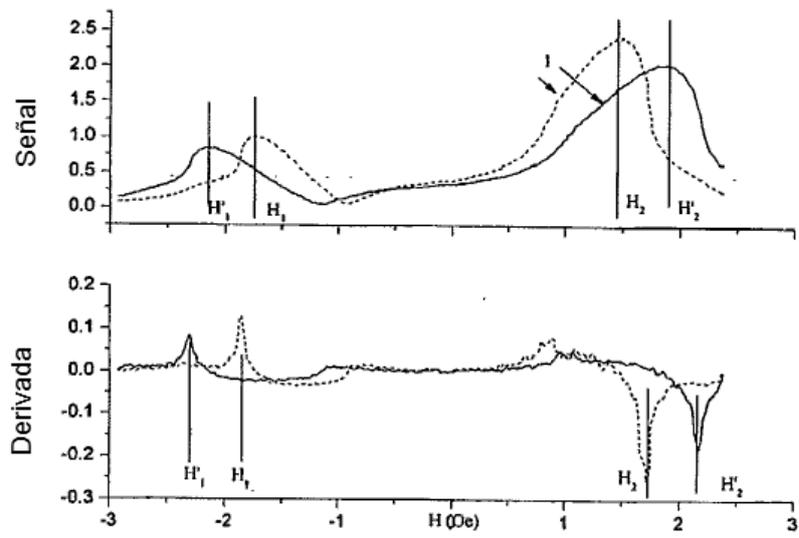


Fig. 4

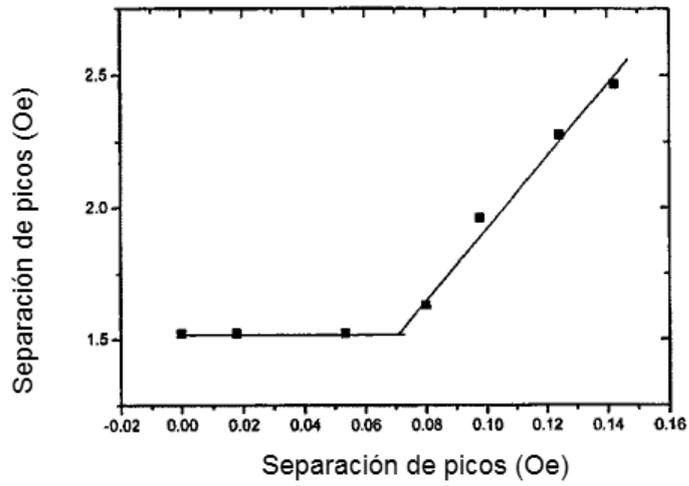


Fig. 5

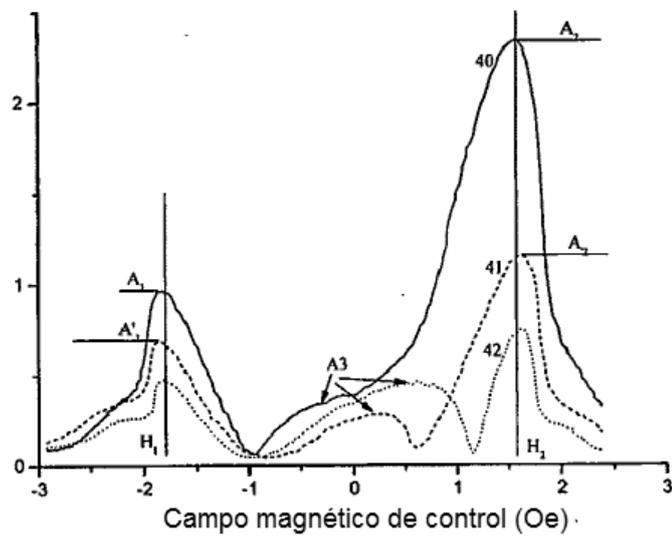


Fig. 6

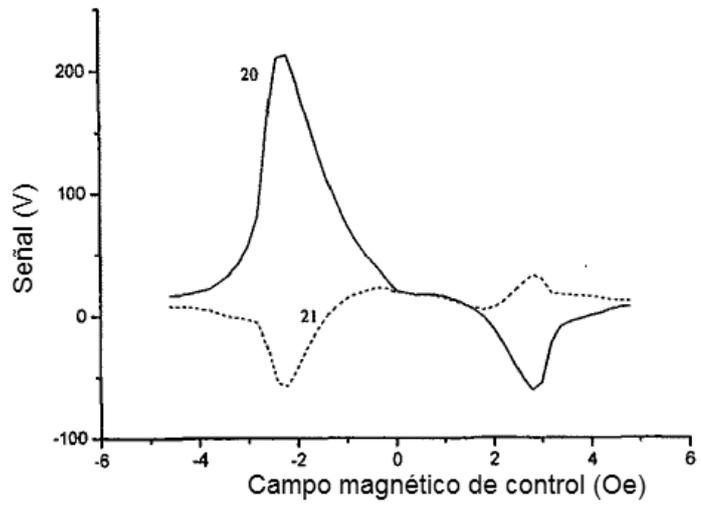


Fig. 8

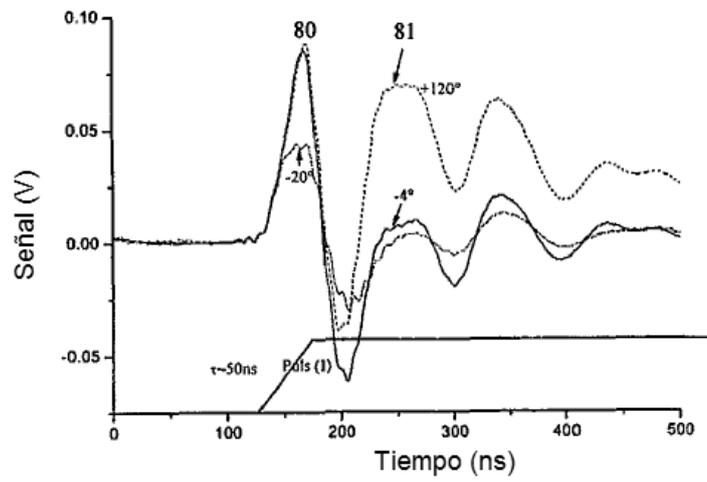


Fig. 7

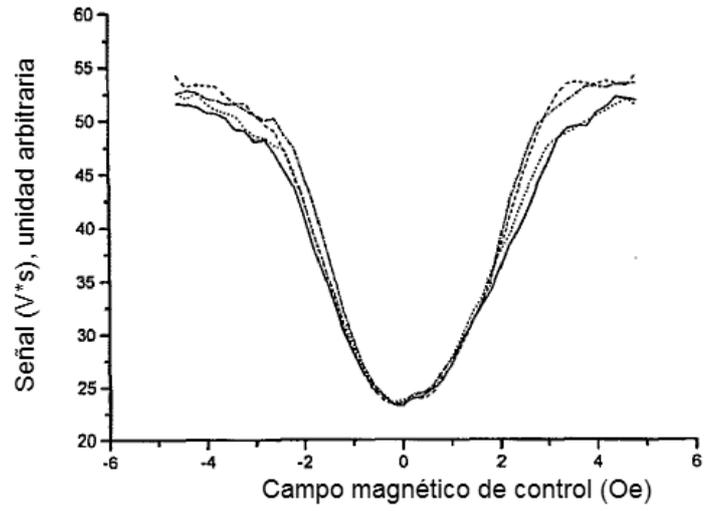


Fig. 9

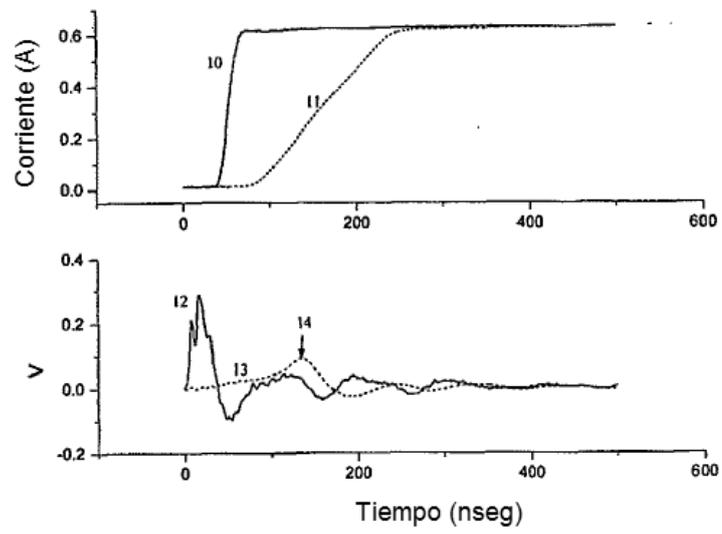


Fig. 10

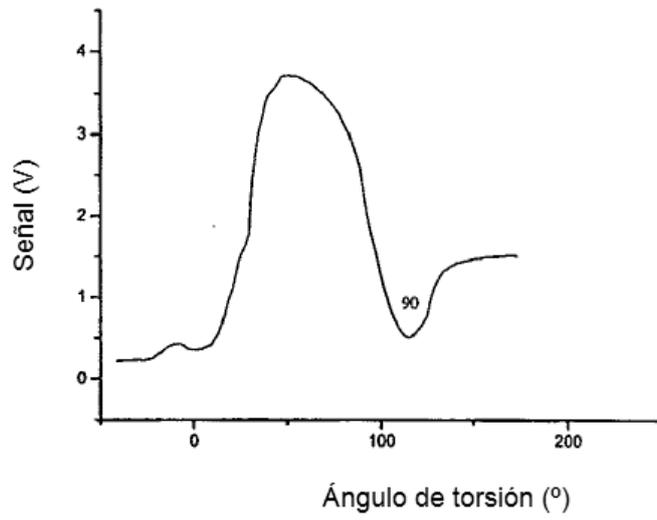


Fig. 11

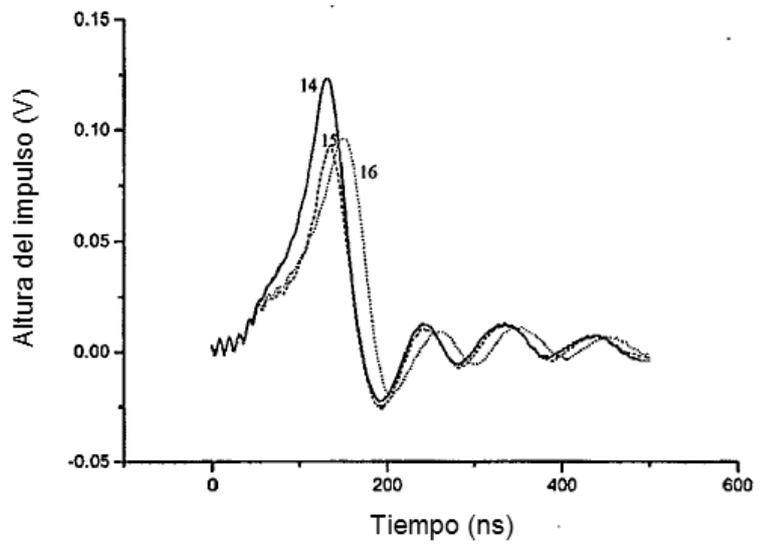


Fig. 12

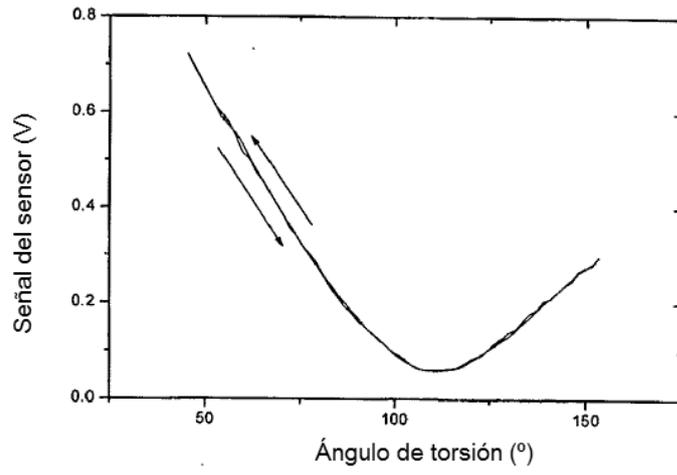


Fig. 13