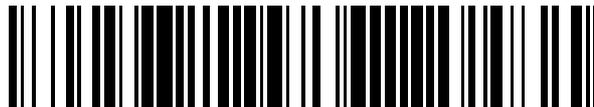


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 395 727**

51 Int. Cl.:

G01B 7/02 (2006.01)

G01N 27/72 (2006.01)

G01R 27/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2004 E 04809154 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2012 EP 1709390**

54 Título: **Método y dispositivo para medir el espesor y la conductividad eléctrica de un objeto de medición**

30 Prioridad:

31.12.2003 SE 0303612

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

14.02.2013

73 Titular/es:

**ABB AB (100.0%)
KOPPARBERG SVÄGEN 2
721 83 VÄSTERAS, SE**

72 Inventor/es:

LINDER, STEN

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 395 727 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

Método y dispositivo para medir el espesor y la conductividad eléctrica de un objeto de medición

5 Campo de la técnica

La presente invención se refiere principalmente a la determinación/ medición sin contacto de los parámetros o propiedades buscadas de un objeto que va a medirse, tal como, por ejemplo, dimensiones geométricas o propiedades eléctricas. Estos pueden ser el espesor o la conductividad eléctrica del objeto que va a medirse. La invención se refiere específicamente a la medición sin contacto que utiliza medidas e inducción electromagnética en objetos eléctricamente conductores pero sustancialmente no magnéticos tales como, por ejemplo, productos de metal.

Un campo particular de aplicación es la medición de espesor en la fabricación de láminas de metal, una tira de metal, etc. y, por ejemplo, cuando sea necesario medir de forma continua el espesor de la lámina para poder aumentar la calidad final de la tira o lámina.

La invención puede usarse también para realizar mediciones de objetos no metálicos pero eléctricamente conductores.

La invención es especialmente adecuada para la medición sin contacto y simultánea del espesor y las propiedades eléctricas de material metálico y no magnético delgado tal como, por ejemplo, una lámina de metal.

Antecedentes de la invención

La medición de dimensiones y propiedades de productos de metal es de una importancia vital en la industria del metal de hoy en día. Para poder controlar los productos finales a la calidad deseada en los procesos de fabricación, es de gran importancia que la medición continua de diferentes cantidades/ parámetros del producto sea correcta y fiable. Esto se aplica, en particular, a la fabricación de una tira o lámina en la que, por ejemplo, el espesor es de una importancia vital. Las técnicas que se usan hoy en día tal como, por ejemplo, técnicas basadas en luz, técnicas basadas en radiación y técnicas con contacto mecánico, son a menudo sensibles a las perturbaciones en el entorno circundante y a la composición del material medido. Por lo tanto, los métodos conocidos no son adecuados para su uso cuando se tiene como objetivo la más alta calidad del material. Por lo tanto, es necesario mostrar una nueva técnica de medición fundamental, que no adolezca de estos defectos.

Técnica anterior

Se ha sugerido desde hace tiempo la técnica de medición inductiva como una técnica de medición posible para realizar mediciones de dimensiones y propiedades de metales. Los métodos más antiguos en el campo para el que se han presentado solicitudes de patente se remontan a fechas tan tempranas como 1920. Esta técnica nunca gozó realmente de aceptación y se empleó en el ámbito industrial debido a que la medición del espesor de un objeto se veía influenciada excesivamente por la composición del material.

Sólo después de la técnica que se da a conocer en los documentos US 5.059.902 y SE 517293 se volvieron un éxito las mediciones y la técnica gozó de aceptación y se empleó en el ámbito industrial. Con la nueva técnica, podrían diseñarse dispositivos de medición industrialmente útiles y exitosos. Estos dispositivos de medición solucionaron los defectos de los que adolecía la técnica de medición de la técnica anterior.

Una desventaja de la presente nueva técnica, no obstante, ha sido que no ha sido posible usar esta para realizar mediciones de láminas muy delgadas tales como, por ejemplo, una lámina de metal. Esta es una desventaja considerable, debido a que una técnica de medición industrial debería poder aplicarse en general y ser capaz de medir unas láminas de diferentes espesores y de propiedades de materiales diferentes.

Otro método conocido para la medición sin contacto del espesor de una lámina es irradiar la lámina con una radiación radioactiva o con una radiación de rayos X y medir a continuación la absorción de radiación de la lámina. Esta absorción depende, entre otras cosas, del espesor de la lámina y constituye un valor medido primario del espesor de la misma. El valor medido se ve influenciado, no obstante, también por la composición del material, por lo que la precisión de la medición no es lo bastante buena.

También se conoce previamente la medición del espesor de una tira o una lámina de un material eléctricamente conductor con métodos de inducción eléctrica. Con el presente fin, se permite que una o más bobinas transmisoras generen un campo magnético variable en el tiempo que se hace que penetre en el material eléctricamente conductor y que induzca una corriente en el mismo. Esta corriente genera, a su vez, un campo magnético que induce una tensión en una o más bobinas receptoras. La tensión inducida se usa, después de un cierto procesamiento de señal, como una medida del espesor.

Los métodos y dispositivos que son los más adecuados para el fin y, por lo tanto, son los más usados en la práctica, se basan en el uso de la variación en el tiempo que se recibe cuando la corriente a las bobinas transmisoras se corta de forma repentina, por ejemplo en una fase. Este método de obtención de una variación en el tiempo ha demostrado que proporciona métodos y dispositivos, los cuales son útiles en la práctica, en un grado considerablemente más alto que la técnica que se basa en una variación en el tiempo sinusoidal, la cual era la técnica que se usaba habitualmente con anterioridad.

El método que se describe en el documento US 5.059.902 ha demostrado que funciona bien en muchos contextos de medición en los que se ha tenido como objetivo la medición en materiales eléctricamente conductores. No obstante, cuando se realizan mediciones en una tira o lámina, se ha demostrado que no ha sido posible cumplir las demandas más elevadas de precisión de la medición. La medición en varios puntos en el tiempo, y los cálculos en función de estos valores medidos, dan como resultado unos errores totales demasiado grandes.

En el documento SE 517293 se describe un método de este tipo, el cual se basa en una corriente cortada de forma repentina a la bobina transmisora. Este método ha solucionado el problema de medición ya que, sustancialmente, una medición durante un cierto periodo de tiempo dado proporciona de forma inmediata el espesor de la tira o lámina sin verse influenciado por otros parámetros variables.

Este método ha supuesto un importante adelanto industrial para la fabricación de una lámina de metal. Con la introducción de esta técnica, ha sido posible medir el espesor sin verse influenciado por los parámetros del material como cuando se usa una técnica de isótopos, rayos X/ roentgen. No hay una influencia perturbadora que proceda de la composición de la región de medición, es decir, la composición del aire, la temperatura del entorno circundante o el material, aceite y suciedad, como cuando se usa una medición por rayos X, por isótopos o medición óptica. Aún así, la medición se realiza de una forma sin contacto o en ausencia de contacto.

No obstante, un problema es que la técnica no puede usarse cuando se mide una tira y lámina muy delgada. Para el presente tipo de medición, el campo magnético penetra con mucha rapidez en el centro de la tira o lámina, y la mayor parte de esta penetración tiene lugar durante un periodo de tiempo inicial. Cuando la medición real va a realizarse, es decir, durante un periodo de tiempo algo posterior, el efecto de la variación ya ha cesado y no se obtiene valor medido útil alguno.

No ser capaz de realizar mediciones en una tira y lámina delgada quiere decir que la utilidad del método se reduce considerablemente, debido a que el mismo usuario del método desea a menudo ser capaz de usar el dispositivo de medición en láminas tanto gruesas como delgadas. Por lo tanto, debe procurarse y usarse en paralelo otra técnica, lo que da como resultado costes adicionales, etc.

Con la técnica de la actualidad para una medición sin contacto de láminas delgadas, tal como radiación de rayos X y métodos radioactivos, la lámina no puede medirse con independencia del material; la medición debe adaptarse/ajustarse a la vista de la composición del material medido. Además, la medición se ve influenciada por cosas diferentes de la lámina en la región de medición, tal como por aceite, agua, aire y otras impurezas. Estos problemas de la técnica existente constituyen unos problemas graves, los cuales limitan la fiabilidad de las técnicas conocidas y, por lo tanto, su utilidad.

Objetos y características más importantes de la invención

Un problema importante que es necesario solucionar es que los dispositivos y métodos conocidos de medición de la técnica anterior no pueden usarse para la realización de mediciones de láminas delgadas o muy delgadas tales como, por ejemplo, una lámina de metal.

Los métodos y dispositivos de medición de la técnica anterior no han sido capaces de cumplir los requisitos de precisión de la medición, ni siquiera cuando se usan métodos inductivos. Los cálculos en función de tales valores de medición han dado como resultado unos errores demasiado grandes.

Otro problema de la técnica anterior es que la medición de, por ejemplo, el espesor de un producto se ve influenciado por la composición del material del objeto que va a medirse.

Un problema más es que diferentes métodos y dispositivos de medición deben usarse en paralelo hoy en día con el fin de llevar a cabo mediciones de láminas tanto gruesas como delgadas.

Un problema importante que ha de solucionarse con el fin de obtener un adelanto industrial real para la nueva técnica es conseguir un método de medición y un dispositivo para el mismo que muestren una técnica básica similar para realizar mediciones de materiales tanto gruesos como delgados.

Un problema adicional es que la fabricación de tiras y láminas es un proceso que demanda mucha potencia, y en conexión con los accidentes hay siempre un riesgo de que los medidores, tal como medidores de espesor, se dañen o se destruyan. Por lo tanto, es importante que los dispositivos de medición sean simples, económicos y robustos.

El objeto de la presente invención es la provisión de un método y un dispositivo que solucionen los problemas que se describen anteriormente y que emplean una medición inductiva del espesor y la conductividad eléctrica de la lámina de una tira delgada o lámina delgada de un material eléctricamente conductor.

5 Es un objeto adicional de la presente invención la provisión de una medición del espesor de lámina que puede realizarse usando los dispositivos que ya se usan para obtener la medición del espesor de lámina en una tira o lámina más gruesa. La posición del objeto que va a medirse tampoco debería influir durante la medición de una forma negativa en la precisión de la medición.

10 Esto se consigue de acuerdo con la presente invención

- colocando una bobina transmisora 3 en un lado del objeto 5 que va a medirse,
- colocando una bobina receptora 7 en el otro lado opuesto del objeto 5 que va a medirse,
- generando un campo magnético en la bobina transmisora 3,
- 15 - cambiando repentinamente el campo magnético generado en la bobina transmisora 3,
- detectando la tensión S1 inducida en la bobina receptora 7,
- determinando el periodo de tiempo Ta que transcurre desde el tiempo t0 de la variación del campo magnético en la bobina transmisora 3 hasta el tiempo t1 en el que una tensión comienza a inducirse en la bobina receptora 7,
- 20 - determinando la magnitud máxima S1máx de la tensión inducida en la bobina receptora 7, y
- calculando el espesor y/o la conductividad eléctrica del objeto 5 que va a medirse en función del periodo de tiempo Ta y la tensión máxima S1máx inducida en la bobina receptora 7.

Un dispositivo de medición de acuerdo con la invención comprende

- 25 - disponer la bobina transmisora 3 para generar un campo magnético variable,
- disponer la bobina receptora 7 para generar una tensión S1 cuando se está sometiendo a una variación del campo magnético variable,
- disponer un circuito de control 1 para iniciar una variación repentina del campo magnético en la bobina transmisora 3,
- 30 - disponer unos medios 10, 11, 12, 13 para determinar el tiempo t1 para la penetración del campo magnético a través del objeto 5 que va a medirse y, por lo tanto, el periodo de tiempo Ta,
- disponer unos medios 13 para detectar la máxima tensión inducida S1máx en la bobina receptora 7, y disponer unos medios 13 para calcular, en función del periodo de tiempo Ta y la máxima tensión inducida S1máx, el espesor o la conductividad eléctrica del objeto 5 que va a medirse.
- 35

En otras palabras, el lapso de tiempo de la tensión inducida se mide en la bobina receptora después de un corte repentino del suministro de corriente a la bobina transmisora, y estos valores medidos se usan en un cálculo en el que el espesor de la lámina puede determinarse sin que tengan influencia las otras propiedades de la lámina. De acuerdo con un aspecto de la invención, esto se lleva a cabo, por lo tanto, esencialmente calculando, a partir del lapso de tiempo de la tensión, un tiempo en el que la variación del campo magnético, que emana del corte repentino del suministro de corriente en la bobina transmisora, comienza a penetrar a través de la lámina, y midiendo también, a partir del lapso de tiempo de la tensión, la tensión inducida después de que la variación del campo haya penetrado a través de la lámina, y usando entonces la relación entre este tiempo calculado y la tensión medida como una medida primaria del espesor de la lámina.

Por lo tanto, la presente invención soluciona el problema de realizar la técnica de medición magnética aplicable en general. Un usuario de la técnica que se da a conocer en el documento SE 517 293 no necesita cambiar completamente la técnica básica cuando va a medirse una lámina de un espesor delgado. La invención permite que la medición de una lámina delgada se lleve a cabo con el mismo tipo de equipo y método.

La invención hace posible la medición con unos pocos componentes, extremadamente simples, los cuales tampoco son sensibles a destrucción y daño mecánico. El equipo comprende unas bobinas simples y unos pocos componentes convencionales eléctricos/ electrónicos simples.

55 El equipo puede dotarse por lo tanto de forma ventajosa de un medidor de espesor para una lámina más gruesa de acuerdo con una técnica conocida. Es incluso posible usar alguno de los componentes, pero de formas diferentes, de forma conjunta en ambos dispositivos de medición.

60 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se describirá con mayor detalle a continuación con referencia a las figuras adjuntas.

65 La figura 1 muestra un diagrama de circuito electrónico del equipo de medición de acuerdo con la invención.

Las figuras 2A-E muestran cinco diagramas de señal diferentes que muestran los valores de señal en unos

tiempos diferentes.

La figura 3 muestra una solución alternativa para el equipo de medición de acuerdo con la invención, en la que el sentido de la corriente a través de la bobina transmisora se varía de forma alterna.

5

La figura 4 muestra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con la invención.

Descripción de las realizaciones preferidas

10 La figura 1 muestra un diagrama de circuito de acuerdo con la invención para realizar mediciones del espesor y la conductividad de un objeto, o un objeto 5 que va a medirse, y sus propiedades eléctricas. El objeto 5 que va a medirse, en el presente caso en forma de lámina, se coloca entre una bobina transmisora 3 y una bobina receptora 7.

15 La bobina transmisora 3 se alimenta, durante un primer periodo de tiempo T1, con una corriente sustancialmente constante i que proviene de una fuente de corriente 4 a través de un transistor 2. El transistor 2 se controla mediante una señal Sc1 a partir de un circuito de control 1.

20 Durante un primer periodo de tiempo T1, un periodo de suministro de corriente, el transistor 2 porta la corriente desde la fuente de corriente 4 a la bobina transmisora 3 y adicionalmente a la tierra Gnd. Directamente después de este periodo de suministro de corriente T1, la corriente a la bobina transmisora 3 se interrumpe mediante el paso a estado de corte del transistor 2. Una resistencia 6 en paralelo con la bobina transmisora 3 sirve como una resistencia de descarga en conexión con la interrupción de la corriente.

25 Esta resistencia 6, junto con la inductancia de la bobina transmisora 3, determina el tiempo de corte de la bobina transmisora 1.

30 La lámina 5, el espesor o la conductividad eléctrica de la cual va a medirse, se coloca en las proximidades de la bobina transmisora 3 de tal modo que la lámina 5 se ve influenciada por el campo magnético generado a partir de la bobina transmisora 3. En el otro lado de esta lámina 5, una bobina receptora 7 se dispone a una distancia tal con respecto a la bobina transmisora 3 que esta se ve influenciada por el campo magnético de la bobina transmisora 3.

35 La bobina receptora 7 se conecta mediante una conexión a la tierra GnD y mediante su otra conexión a un amplificador de tensión 9, y una resistencia de descarga 8 se coloca también en paralelo con la bobina receptora 7. El amplificador de tensión 9 transforma el nivel de tensión inducida S1 a través de la bobina receptora 7 en un nivel adecuado para el circuito integrador 10. En este circuito integrador 10, la tensión a partir del amplificador 9 se integra a partir del tiempo t_1 en el que el suministro a través del transistor 2 se interrumpe y hacia delante en el tiempo. El control del circuito integrador 10 se realiza mediante el circuito de control (en el tiempo) 1 a través de una señal Sc2. La señal integrada S2 se pasa a dos circuitos de Muestreo y Retención (S/H) en paralelo 11, 12 en los que el valor de la señal integrada S2 en dos tiempos diferentes, que se determina por las señales de control Sc3 y Sc4 a partir del circuito de control 1, se determina como dos niveles de tensión diferentes S3, S4.

45 Los voltajes estables S3 y S4 pueden usarse a continuación como valores iniciales para calcular tanto el espesor de la lámina como la conductividad eléctrica de la misma. Esto se hace en un circuito de cálculo 13 que, por ejemplo, puede ser un amplificador restador, un procesador, un ordenador o similar. El circuito de cálculo 13 presenta el resultado final en forma de una señal de salida a un ordenador o similar, o de una forma bastante simple un valor que se muestra en una unidad de presentación 14.

50 Las figuras 2A-E ilustran ejemplos en forma de diagrama de las diferentes señales que tienen lugar en el equipo de medición de acuerdo con la figura 1. Se muestran cinco diagramas diferentes A-E, en los que en cada diagrama el eje horizontal muestra el tiempo y el eje vertical muestra niveles de tensión y de corriente. Tal como se menciona, una señal de control Sc1 hace que el transistor 2 se encuentre en estado de corte durante un periodo de tiempo T1, lo que permite que pase la corriente a través de la bobina transmisora 3. El periodo de tiempo T1 es tan largo que todas las variaciones en el campo magnético, el cual se genera mediante la bobina transmisora, debido a las variaciones en la corriente i , han cesado. En los diagramas en la figura 2, se considera que el periodo de tiempo T1 se ha iniciado incluso antes del tiempo que se muestra en los diagramas.

60 En el tiempo t_0 , se hace que el transistor 2 corte la corriente a través de la bobina transmisora 3. La corriente a través de la bobina transmisora 3 i es evidente a partir del diagrama A. Esa variación en el campo magnético, que se genera mediante la bobina transmisora 3, la cual se vuelve una consecuencia de la variación del suministro de corriente, penetra de forma gradual a través de la lámina 5, y la variación del campo magnético alrededor de la bobina receptora 7 induce una tensión S1 en la bobina receptora 7. La tensión S1 inducida de este modo se muestra en el diagrama B en la figura 2.

65 Sólo la variación de tiempo durante unos periodos de tiempo t_0 a t_4 es de un interés primordial, debido a que la medición de los parámetros en cuestión tiene lugar durante este periodo de tiempo. En el tiempo t_0 , ninguna

variación de campo en la bobina receptora 7 tiene lugar en primer lugar, lo que se debe al hecho de que conlleva un cierto tiempo que la variación de campo a partir de la bobina transmisora 3 penetre a través del objeto que va a medirse, es decir, la lámina 5. La ausencia de variación de campo a través de la bobina receptora 7 da lugar, por lo tanto, a que la tensión inducida en la bobina receptora 7 sea inicialmente cero en el tiempo t_0 .

Después de un periodo de tiempo T_a , a partir del tiempo t_0 en el que la corriente en la bobina transmisora 3 se cortó, la variación del campo magnético ha penetrado a través de la lámina 5 y, por lo tanto, también se hace que el campo magnético varíe en y alrededor de la bobina receptora 7, lo que a su vez da lugar a una tensión inducida en la bobina receptora 7. La variación de campo en la bobina receptora 7 y, por lo tanto, la tensión a través de la bobina receptora 7 S_1 después de un corto intervalo de tiempo, alcanzan un valor máximo $S_{1máx}$ y entonces disminuyen de forma sucesiva.

La señal S_1 se amplifica en el circuito amplificador 9 y se integra en el circuito integrador 10 para dar una señal S_2 . La variación de la señal S_2 con el tiempo se muestra en el diagrama en la figura 2C.

El circuito integrador 10 se restablece durante el periodo de tiempo T_1 en el que la bobina transmisora 3 se alimenta con corriente e integra la tensión de señal entrante S_1 sólo desde el tiempo t_0 en adelante. En un tiempo t_4 , cuando los valores de señal S_3 , S_4 se han medido en dos tiempos diferentes t_2 , t_3 y se han almacenado en los circuitos de S/H 11, 12, el circuito integrador 10 se restablece mediante el circuito de control 1.

El diagrama en la figura 2D muestra la señal de tensión S_3 que se ha detectado en el tiempo t_2 . El circuito de S/H 11 se controla mediante la señal de control Sc_3 a partir del circuito de control 1 de una forma tal que el valor asignado a la señal de tensión S_2 en el tiempo t_2 se retiene mediante el circuito de S/H. Por lo tanto, la señal de tensión que emerge de este circuito de S/H 11 cuando el proceso se ha terminado, es decir, después del tiempo t_4 , representa la relación de señal en el tiempo t_2 .

De una forma correspondiente, el diagrama en la figura 2E representa la señal de tensión que se detecta mediante el circuito de S/H 12 y que representa la magnitud de la señal integrada S_2 en el tiempo t_3 .

Esto completa la descripción del suministro de una bobina transmisora 3 y la medición en una bobina receptora 7. Durante el uso práctico del presente método y dispositivo, esta secuencia se repite con regularidad. Las señales de salida a partir de los circuitos de S/H 11, 12 entonces no serán cero durante el periodo de tiempo T_1 y hasta los tiempos t_2 y t_3 . En su lugar, los valores de señal a partir de la secuencia precedente se mantendrán durante este tiempo.

De acuerdo con la invención, el tiempo t_2 se elige de una forma tal que la variación del campo magnético ha tenido un vasto tiempo para penetrar, después del periodo de tiempo T_a , pero antes de que la señal S_1 a partir de la bobina receptora haya tenido tiempo de caer considerablemente con respecto a su valor máximo. El periodo de tiempo T_a puede determinarse o bien midiendo cuándo la señal de tensión en la bobina receptora 7 tiene un valor más grande que cero por primera vez, o bien usando mediciones y cálculos a partir de un instante de medición previo.

El periodo de tiempo T_a puede calcularse también a partir de la siguiente relación:

$$T_a = \text{constante}_1 \times (\text{Espesor de lámina})^2 \times \gamma$$

en la que γ es la conductividad eléctrica de la lámina.

La constante₁ es una constante generalmente aplicable que puede o bien calcularse usando la teoría de campos o bien medirse en un caso conocido. Durante el uso práctico de la presente fórmula de cálculo, los valores medidos del espesor y la conductividad de lámina se usan en primer lugar. Entonces, t_2 se elige de tal modo que el periodo de tiempo t_1 a t_2 es más grande que este valor de T_a por un buen margen.

Habitualmente, t_2 se selecciona de tal modo que el periodo de tiempo se vuelve dos veces más largo que T_a , pero el dispositivo funciona bien también cuando se selecciona t_2 de tal modo que el periodo de tiempo pasa a estar entre $1,2 \times T_a$ y bastante más largo que T_a , por ejemplo 10 veces más largo. Una consecuencia de esto es que T_a sólo necesita estimarse aproximadamente para determinar t_2 y t_3 , lo que facilita considerablemente el uso de la invención.

Como ejemplo, puede mencionarse que, si el espesor de lámina se indica en mm, la conductividad en 1/ohm/m y el tiempo en microsegundos, entonces la constante₁ es aproximadamente $2 \cdot \mu / \pi^2 = 2 \cdot 10^{-7}$, en la que μ es la permeabilidad magnética en el vacío.

El tiempo t_2 se selecciona adicionalmente con el fin de tener lugar dentro del periodo de tiempo T_b , un periodo de tiempo después del cual S_1 aún se encuentra cerca de su valor máximo $S_{1máx}$. Encontrándose S_1 cerca de su valor máximo se pretende indicar en el presente caso que el valor de señal no ha caído más de un 10 %. Los

mejores resultados cuando se usa el dispositivo de acuerdo con la invención se obtienen si T_b es un periodo de tiempo de una duración tal que el valor de señal S_1 ha caído sólo de forma insignificante con respecto a su valor máximo, por ejemplo un 2 % al final del periodo.

5 Así mismo, en aquellos casos en los que el valor de señal se mide en un tiempo en el que este ha caído por debajo de $S_{1\text{máx}}$, un valor correcto de $S_{1\text{máx}}$ puede calcularse con suficiente precisión. Esto puede hacerse solucionando las ecuaciones fundamentales subyacentes para el presente caso (las ecuaciones de Maxwell). Es complicado conseguir una solución de este tipo, pero se ha demostrado que un simple ajuste de los valores medidos en t_2 y t_3 , respectivamente, puede obtenerse tal como sigue:

10

$$S_{3\text{just}} = \frac{1 - \sqrt{1 - 2 * \text{constante}2 * S_3}}{\text{constante}2}$$

$$S_{4\text{just}} = \frac{1 - \sqrt{1 - 2 * \text{constante}2 * S_4}}{\text{constante}2}$$

$$S_{1\text{máx}} = \frac{S_{4\text{just}} - S_{3\text{just}}}{t_3 - t_2}$$

15

La constante2 es en el presente caso una constante, independiente del objeto que va a medirse, que puede calcularse o medirse en un caso con un objeto conocido 5 que va a medirse. El cálculo de $S_{3\text{just}}$ y $S_{4\text{just}}$ puede refinarse adicionalmente, con la ayuda de cálculos con las ecuaciones fundamentales subyacentes, haciendo posible de este modo medir también cuándo el valor de señal ha caído más de un 10 %, si bien dentro de este 10 % el ajuste que se menciona anteriormente es suficiente.

20

El tiempo t_3 se selecciona de tal modo que este se encuentra por debajo del tiempo t_2 pero aún antes de que la señal S_1 haya caído demasiado con respecto a $S_{1\text{máx}}$. Se ha demostrado, a partir de la experiencia, que es adecuado situar el tiempo t_3 aproximadamente dos veces más largo con respecto a t_1 que t_2 .

25

En la realización de la invención que se describe anteriormente, el suministro de corriente a la bobina transmisora 3 se ha interrumpido. La invención no está limitada, no obstante, a una variación de este tipo del suministro de corriente, sino que puede darse lugar a que la invención funcione también con otras variaciones repentinas de un valor de corriente constante a otro. Normalmente se prefiere un corte total de la corriente, descendiendo de un valor de corriente constante a cero, no menos debido a que, técnicamente, es más fácil cortar con rapidez una corriente completamente con un transistor que conectar con rapidez una corriente o hacer que varíe con rapidez una corriente de un valor a otro.

30

La duración del periodo de penetración (T_a) se calcula, de acuerdo con la invención, considerando la tensión S_2 como una función lineal del tiempo en la región alrededor de t_2 y t_3 , y calculando entonces, con la ayuda de los valores de señal S_3 y S_4 en t_2 y t_3 , el valor con el tiempo de esta función cuando la señal es cero (0). De forma similar, $S_{1\text{máx}}$ se calcula como la pendiente de esta función. Como alternativa, $S_{3\text{just}}$ y $S_{4\text{just}}$ se usan para el presente cálculo en aquellos casos en los que la señal S ha caído considerablemente en relación con $S_{1\text{máx}}$. El espesor del objeto puede calcularse entonces como el producto de $S_{1\text{máx}}$ y T_a .

40

Los dos valores de señal S_3 , S_4 , que se obtienen a partir de los circuitos de S/H 10,11 o, como alternativa, los valores calculados $S_{3\text{just}}$, $S_{4\text{just}}$, se usan para calcular, de una forma no ambigua, valores del espesor y la conductividad eléctrica del objeto que va a medirse, es decir, la lámina 5. Esto se lleva a cabo en el circuito de cálculo 13 calculando el espesor y la conductividad y a partir del algoritmo:

45

$$\text{Espesor de lámina} = \text{constante}3 \times (S_3 \times t_3 - S_4 \times t_2) / (t_3 - t_2)$$

$$y = \text{constante}4 / ((S_4 - S_3) \times (S_3 \times t_3 - S_4 \times t_2))$$

50

La constante1 y la constante2 se determinan mediante la medición en una lámina de un espesor conocido y de una conductividad eléctrica conocida. Este método de cálculo ha demostrado que funciona bien cuando los tiempos t_2 y t_3 pueden seleccionarse de tal modo que ambos se encuentren cerca del valor máximo $S_{1\text{máx}}$ de la señal S_1 . No obstante, puede ser difícil, en un caso práctico, seleccionar t_2 y t_3 de esta forma, debido al hecho de que no se conoce por adelantado dónde se encuentra en el tiempo este valor máximo.

55

De acuerdo con una realización alternativa de acuerdo con la invención, el punto de partida puede ser también una aparición de la señal integrada S2, que se conoce por adelantado mediante la medición de una pluralidad de láminas de un espesor conocido y una conductividad conocida, o que se conoce mediante cálculo, y comparando esta aparición conocida con la señal para S3 en t2 y S4 en t3, el espesor y la conductividad pueden calcularse en la lámina desconocida durante la medición.

De acuerdo con una realización similarmente alternativa de acuerdo con la invención, el tiempo de penetración Ta y la máxima tensión inducida S1máx puede calcularse directamente a partir de la señal inducida S1 de acuerdo con la figura 2. Esto puede hacerse o bien detectando cuando un cierto nivel de señal se consigue la primera vez después de t1 como una medida de Ta o bien detectando el valor máximo de la señal S1 como una medida de S1máx. Entonces, el espesor de la lámina 5 puede calcularse como proporcional al producto de estos dos valores.

Además, el valor recíproco de la conductividad eléctrica puede obtenerse como el producto del cuadrado del valor de S1máx y el valor de Ta. Los valores de Ta y S1máx pueden obtenerse también de una forma similar convirtiendo en primer lugar la señal S1 en forma digital y llevando a cabo a continuación la determinación de acuerdo con lo anterior en un circuito de cálculo.

Un método alternativo adicional de determinación del espesor y la conductividad a partir de la señal S1, o como alternativa S3 y S4, es calcular, en función de valores supuestos del espesor y la conductividad, las señales con las ecuaciones electromagnéticas fundamentales y comparar estas señales calculadas con las señales medidas. Cuando las señales calculadas y medidas se corresponden, las suposiciones con respecto al espesor y la conductividad son precisas. Una ventaja esencial de la disposición de la medición de acuerdo con la invención ha demostrado ser que las señales medidas, S1 o como alternativa S3 y S4, se vuelven completamente independientes de la posición del objeto en relación con las bobinas. Al contrario que otros dispositivos de medición inductivos, esto quiere decir que no se necesita compensar en modo alguno la posición del objeto.

Un método alternativo de determinación del tiempo de penetración Ta y el flujo magnético a través de la lámina 5 se muestra en la figura 3. Dos transistores 2a, b se disponen para controlar la corriente de suministro a la bobina transmisora 3. El primer transistor 2a se dispone para portar corriente desde una fuente de corriente constante 4a a la bobina transmisora 3 y el segundo transistor 2b se dispone para portar corriente desde la bobina transmisora 3 a la salida 4b conectada a un sumidero de corriente constante o tensión con un potencial negativo. Una resistencia de descarga 6 se conecta por medio de la bobina transmisora 3. Los dos transistores 2a y 2b se controlan a partir del circuito de control 1 de una forma tal que estos portan corriente de forma alterna.

Durante un primer periodo de tiempo T1, hasta el tiempo t1 (véase la figura 2), sólo un transistor 2a porta la corriente de tal modo que la corriente fluye a través de la bobina transmisora 3 y, entonces, a la tierra Gnd. Durante el periodo desde t1 hasta un punto un cierto tiempo después de t4, ambos transistores 2a, b están en estado de conducción y las señales, que se generan mediante la tensión inducida en la bobina receptora 7, se miden. Después de lo anterior, el proceso se repite con la diferencia de que el segundo transistor 2b porta la corriente en el sentido opuesto, es decir, desde la tierra Gnd a través de la bobina transmisora 3 a través del transistor 2b a la salida 4b, que tiene un potencial negativo.

Las variaciones del campo magnético tendrán entonces, de forma alterna, unos sentidos diferentes y la tensión S1 inducida en la bobina transmisora 3 será, de forma alterna, de diferentes polaridades. La señal de salida a partir de los circuitos de S/H 11,12 se vuelve una tensión de AC con una apariencia de onda cuadrada. Cuando esta señal se trata en el circuito de cálculo 13, la diferencia entre el valor de señal positivo y el valor de señal negativo se usa como valores medidos de S3, S4. De esta forma, se obtienen unos valores de las dos cantidades que no se ven influenciados, por ejemplo, por errores por desplazamiento del cero en los circuitos electrónicos 7-12, y el cálculo del espesor y la conductividad eléctrica de la lámina 5 será incluso más preciso que cuando se usa la solución de circuito de acuerdo con la figura 1. La realización de acuerdo con la figura 3 se prefiere cuando se realizan unas demandas de precisión muy altas de la medición.

El método de acuerdo con la invención puede, por lo menos en parte, llevarse a cabo con la ayuda de códigos informáticos que se ejecutan en un procesador o en un ordenador, y estos códigos informáticos pueden estar almacenados en un soporte informático de lectura tal como un disco duro, un disquete, un CD-ROM, otra memoria extraíble, etc.

Un aspecto importante de la presente invención, que está prevista principalmente para usarse para la realización de mediciones en una lámina delgada, es que las bobinas que se describen en conexión con las figuras 1 y 3 pueden usarse también para realizar mediciones en una lámina más gruesa por medio de cualquiera de las técnicas inductivas que se han descrito como nuevas. Por lo tanto, puede darse un uso diferente a las bobinas que se usan para realizar mediciones de una lámina más gruesa de acuerdo con el documento SE 517 293, por ejemplo de acuerdo con la figura 3, cambiando, en función del espesor de lámina, el suministro a las bobinas transmisoras y la conexión de las bobinas receptoras.

A pesar de que la invención tal como se define anteriormente se ha descrito por medio de unas pocas realizaciones, la invención no está limitada, por supuesto, a estas realizaciones; otras realizaciones y variantes son factibles dentro del alcance de la protección de las reivindicaciones. Por lo tanto, por ejemplo, es concebible que el cálculo del espesor y/o la conductividad eléctrica del objeto de medición se realicen también usando unas fórmulas matemáticas que sean, completa o parcialmente, diferentes de las que se describen en la solicitud.

5

REIVINDICACIONES

1. Un método para la medición sin contacto de una dimensión y/o una propiedad eléctrica de un objeto eléctricamente conductor que va a medirse usando inducción electromagnética, y método en el que se hace que un campo electromagnético penetre a través del objeto que va a medirse, que comprende las etapas de:
- colocar una bobina transmisora (3) en un lado del objeto (5) que va a medirse,
 - colocar una bobina receptora (7) en el otro lado opuesto del objeto (5) que va a medirse,
 - generar un campo magnético en la bobina transmisora (3)
 - cambiar repentinamente el campo magnético generado en la bobina transmisora (3), y
 - detectar la tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7), **caracterizado por** las etapas de:
 - determinar el periodo de tiempo (Ta) que transcurre desde el tiempo (t0) de la variación del campo magnético en la bobina transmisora (3) hasta el tiempo (t1) en el que una tensión comienza a inducirse en la bobina receptora (7),
 - determinar la magnitud máxima (S1máx) de la tensión inducida en la bobina receptora (7), y
 - calcular el espesor y/o la conductividad eléctrica del objeto (5) que va a medirse en función del periodo de tiempo (Ta) y la tensión máxima (S1máx) inducida en la bobina receptora (7).
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el espesor o la conductividad eléctrica del objeto (5) que va a medirse se calcula en función del producto del periodo de tiempo (Ta) y la tensión máxima (S1máx) inducida en la bobina receptora (7).
3. Un método de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el espesor o la conductividad eléctrica del objeto (5) que va a medirse se calcula en función del valor recíproco del producto del cuadrado de la tensión máxima (S1máx) inducida en la bobina receptora (7) y el periodo de tiempo (Ta).
4. Un método de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7) se integra y **por que** el espesor o la conductividad eléctrica del objeto (5) que va a medirse se calcula en función del valor de esta señal integrada (S2).
5. Un método de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7) se integra y **por que** el espesor o la conductividad eléctrica del objeto (5) que va a medirse se calcula en función del valor de esta señal integrada (S2) en por lo menos dos puntos diferentes en el tiempo (t2, t3).
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** los dos puntos diferentes en el tiempo (t2, t3) se determinan por adelantado.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, **caracterizado por que** los dos puntos diferentes en el tiempo (t2, t3) se encuentran dentro del intervalo de tiempo (Tb), es decir, entre el tiempo (t0) para una variación repentina del campo magnético en la bobina transmisora (3) y el tiempo (t4) en el que la tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7) ha caído de forma segura por debajo de su valor máximo (S1máx).
8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-7, **caracterizado por que** los dos puntos diferentes en el tiempo (t2, t3) se encuentran dentro del intervalo de tiempo (Tb) pero después del periodo de tiempo (Ta).
9. Un dispositivo de medición para la determinación sin contacto de una o más propiedades buscadas de un objeto (5) que va a medirse, tal como su dimensión geométrica y/o su conductividad eléctrica, que comprende por lo menos una bobina transmisora (3) y por lo menos una bobina receptora (7) que están ubicadas una en relación espacial con la otra, así como unos medios para generar un campo magnético variable en la bobina transmisora (3) y unos medios para detectar una tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7), en el que
- la bobina transmisora (3) se dispone para generar un campo magnético variable,
 - la bobina receptora (7) se dispone para generar una tensión (S1) cuando se está sometiendo a una variación del campo magnético variable, y
 - un circuito de control (1) se dispone para iniciar una variación repentina del campo magnético en la bobina transmisora (3), **caracterizado por que**
 - unos medios (10, 11, 12, 13) se disponen para determinar el tiempo (t1) para la penetración del campo magnético a través del objeto (5) que va a medirse y, por lo tanto, el periodo de tiempo (Ta),
 - unos medios (13) se disponen para detectar la máxima tensión inducida (S1máx) en la bobina receptora (7), y unos medios (13) se disponen para calcular, en función del periodo de tiempo (Ta) y la máxima tensión inducida S1máx, el espesor o la conductividad eléctrica del objeto (5) que va a medirse.

10. Un dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** un integrador (10) se dispone para integrar la señal de tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7).
- 5 11. Un dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, **caracterizado por que** unos circuitos (10-12) se disponen para medir la tensión (S1) inducida en la bobina receptora (7) en dos tiempos diferentes (t2, t3) después de un tiempo (t0) para la interrupción en la bobina transmisora (3).
- 10 12. Un dispositivo de medición de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado por que** unos circuitos (10-12) se disponen para detectar el periodo de tiempo (Ta) que transcurre desde el tiempo (t0) para la variación del campo magnético en la bobina transmisora (3) hasta el tiempo (t1) en el que una tensión comienza a inducirse en la bobina receptora (7).

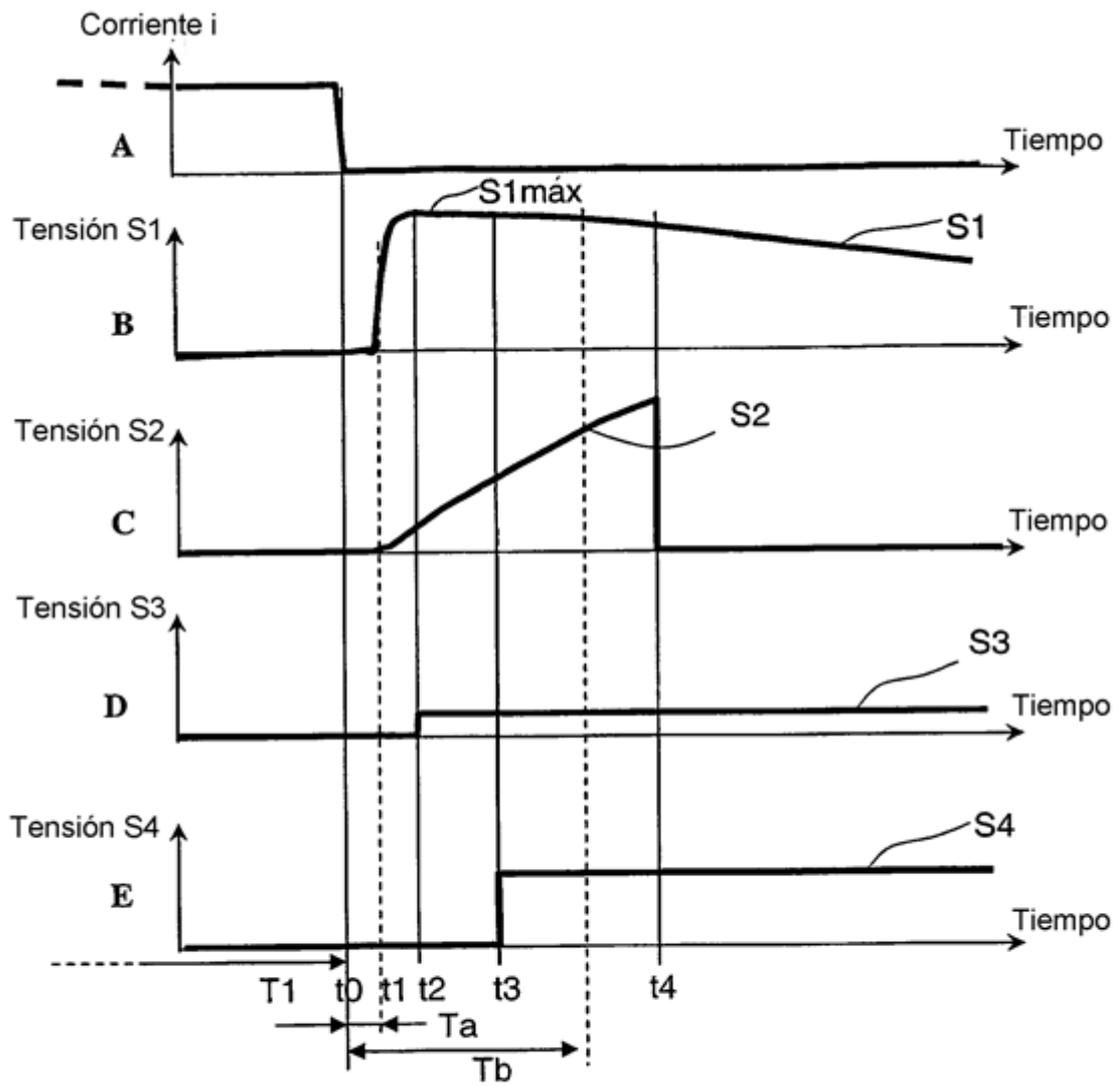


Fig. 2

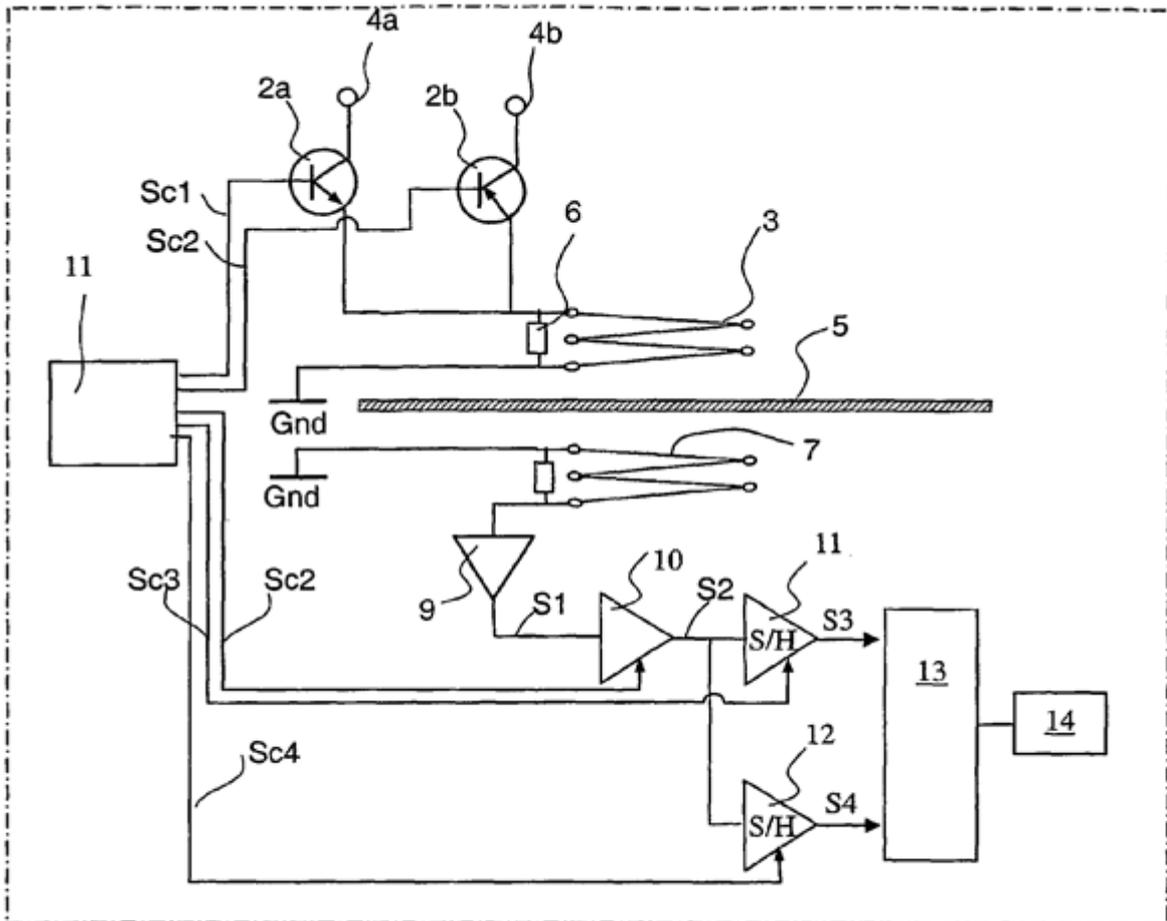


Fig. 3

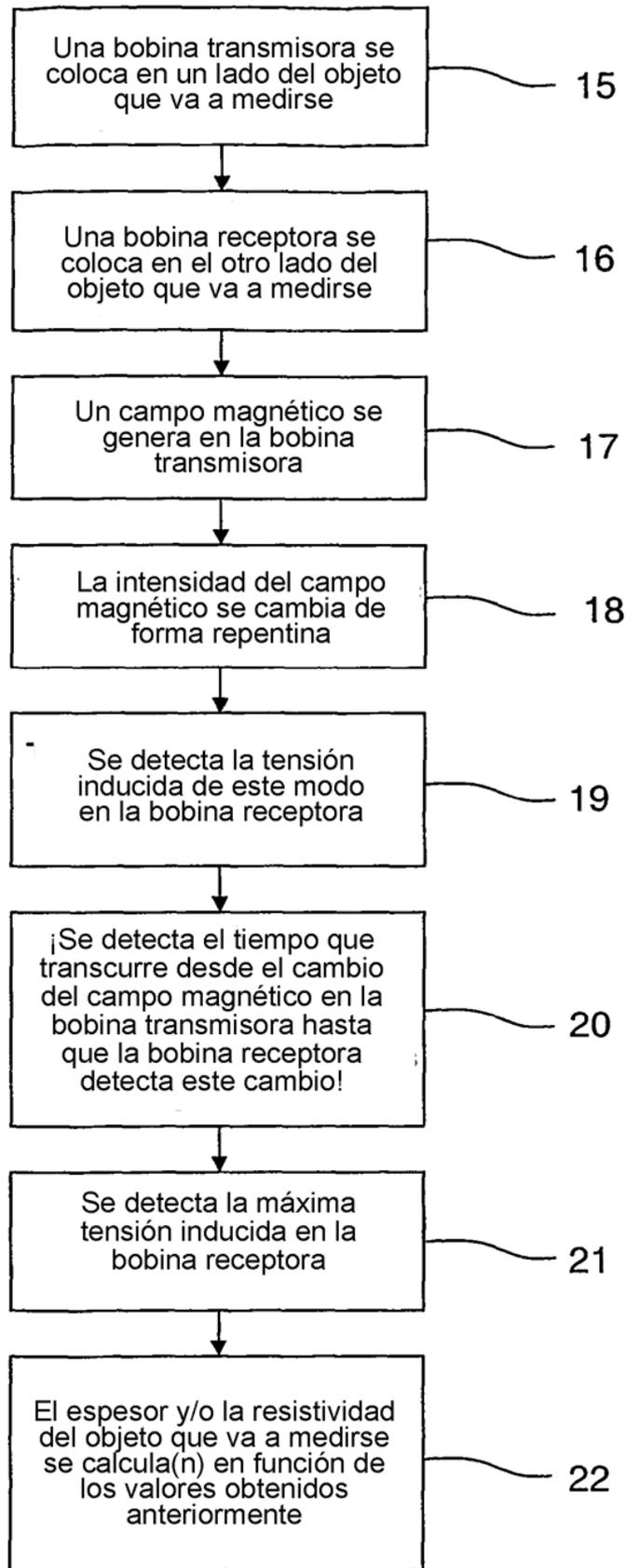


Fig. 4