

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 418**

51 Int. Cl.:

G01D 5/14 (2006.01)

G01D 5/16 (2006.01)

G01D 5/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.09.2006 PCT/FR2006/002175**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.03.2007 WO07034089**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2006 E 06808193 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017 EP 1934559**

54 Título: **Sensor y procedimiento de medición de posición y de velocidad**

30 Prioridad:

23.09.2005 FR 0509784

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

09.08.2017

73 Titular/es:

**HUTCHINSON (100.0%)
4, rue Balzac
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

LENGLET, LUC, LUCIEN, MARIE

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 629 418 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

Sensor y procedimiento de medición de posición y de velocidad

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un sensor y a un procedimiento de medición de posición y de velocidad.

Estado de la técnica

- 10 Existen unos sensores de posición y de velocidad de una pieza móvil que incluyen:
- al menos un inductor de excitación adecuado para inducir un campo magnético de excitación en función de una corriente o de una tensión de excitación de este inductor,
 - 15 - al menos un blanco de material conductor o magnético adecuado para modificar en función de su posición el campo magnético de excitación, siendo este blanco solidario con la pieza móvil,
 - al menos un primer transductor adecuado para transformar el campo magnético modificado por el blanco en una señal eléctrica de medición y
 - 20 - un primer estimador adecuado para estimar, al final de un periodo de observación T_{obs} , la posición y la velocidad del blanco a partir de N muestras de la señal eléctrica de medición y de N muestras de la corriente y/o de la tensión de excitación, extrayéndose estas muestras durante el periodo de observación T_{obs} y siendo N un entero superior a dos.

25 En los sensores existentes, el campo magnético de excitación es una señal alterna de frecuencia f_0 y el estimador es un desmodulador sincrónico ajustado sobre la frecuencia f_0 para obtener la amplitud del componente de frecuencia f_0 en la señal eléctrica medida. Esta amplitud obtenida es representativa de la posición del blanco.

30 Los desmoduladores sincrónicos permiten eliminar los ruidos aditivos presentes en la señal eléctrica medida. Por ruidos aditivos, se designan en este caso los ruidos relacionados con diferentes fenómenos parásitos que se añaden o se superponen a la señal eléctrica teórica que debería obtenerse en ausencia de ruido. La eliminación del ruido aditivo por el desmodulador sincrónico es tanto más operativa cuanto que el periodo de observación es largo.

35 Por otra parte, la posición del blanco debe ser sustancialmente constante durante todo el periodo de observación. En el caso contrario, los desplazamientos del blanco durante el periodo de observación se promedian por el sensor sobre el periodo de observación, de modo que la precisión sobre la medición de la posición decrece.

40 Por consiguiente, cuanto más importante es la velocidad de desplazamiento del blanco, más corto debe elegirse el periodo de observación para considerar que sobre este periodo de observación, la posición del blanco es constante. No obstante, acortar el periodo de observación perjudica a la eliminación del ruido aditivo.

De este modo, los sensores existentes son poco precisos para medir la posición de un blanco que se desplaza rápidamente.

Objeto de la invención

45 La invención tiene como propósito remediar este inconveniente proponiendo un sensor más preciso cuando el blanco se desplaza rápidamente.

50 Por lo tanto, la invención tiene como objeto un sensor de posición y/o de velocidad de una pieza móvil, tal como se define en la reivindicación 1, en el que el estimador es adecuado para establecer la estimación de la posición y/o de la velocidad en función de un modelo de desplazamiento del blanco durante el periodo de observación T_{obs} , relacionando este modelo la posición del blanco en un instante t comprendido en el periodo de observación T_{obs} con al menos la posición y la velocidad que hay que estimar.

55 Gracias a la utilización de un modelo de desplazamiento, el estimador del sensor de más arriba tiene en cuenta el hecho de que al menos la velocidad de desplazamiento del blanco, no es nula durante el periodo de observación para establecer la estimación de la posición y de la velocidad del blanco. Por lo tanto, ya no es necesario elegir un periodo de observación lo suficientemente corto para que la velocidad sea casi nula sobre este periodo. De este modo, el sensor de más arriba puede utilizar un periodo de observación más largo que el de los sensores existentes, de manera que se obtenga una medición más precisa sin, no obstante, estar alterado por el hecho de que el blanco se desplaza durante el periodo de observación.

Los modos de realización de este sensor pueden incluir una o varias de las siguientes características:

- 65 - el estimador es adecuado para utilizar un periodo de observación deslizante desviado temporalmente como

mucho $\frac{N-1}{N} T_{obs}$ con respecto al periodo anterior de observación utilizado para estimar la posición y la velocidad del blanco;

- el sensor incluye una unidad de excitación adecuada para generar la corriente y/o la tensión de excitación de manera que la densidad espectral de energía del campo magnético de excitación se extienda sobre varias frecuencias comprendidas en una banda de frecuencias cuya anchura es de al menos $2/(N \cdot T_{obs})$, conteniendo esta banda de frecuencias al menos un 80 % de la energía del campo magnético de excitación;
- la anchura de la banda de frecuencia es como mucho igual a $2/T_{obs}$;
- la unidad de excitación es adecuada para generar una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de corriente y/o de tensión de excitación, de manera que las N muestras de corriente y/o de tensión de excitación forman una sucesión aleatoria o pseudoaleatoria de valores y por que el estimador es adecuado para estimar la posición y/o la velocidad por proyección de un vector \vec{D} formado por N muestras de la señal eléctrica de medición sobre al menos un vector de una matriz pseudoinversa cuyo un término de la forma $(M^T M)^{-1}$ se precalcula para varias estimaciones, donde M es una matriz, "exponente T" es la función de transposición de la matriz y "exponente -1" es la función inversa;
- al menos un segundo transductor adecuado para transformar únicamente las modificaciones del campo magnético de excitación independientes del desplazamiento del blanco a lo largo de la dirección de medición en una señal eléctrica de referencia, un segundo estimador adecuado para estimar el valor del factor multiplicativo a partir de la señal eléctrica de referencia y un compensador adecuado para compensar las variaciones de amplitud de la señal eléctrica de medición causadas por las variaciones del factor multiplicativo en función del valor estimado de este factor multiplicativo;
- el compensador comprende un regulador adecuado para modificar el campo magnético de excitación en función de la separación entre una consigna de referencia y el valor estimado del factor multiplicativo;
- el primer estimador es adecuado para aumentar automáticamente la longitud del periodo de observación cuando la estimación de la velocidad del blanco decrece;
- el blanco presenta una rotura de conductividad no colineal con la dirección de medición entre dos materiales de conductividades diferentes.

Estos modos de realización del sensor presentan, además, las siguientes ventajas:

- utilizar un periodo de observación deslizante permite obtener un sensor más rápido, capaz de estimar la posición y la velocidad a unos intervalos de tiempo inferiores a $\frac{N-1}{N} T_{obs}$;
- utilizar un campo magnético de excitación cuya intensidad espectral de energía está extendida permite mejorar la inmunidad al ruido de la medición;
- limitar a $\frac{2}{T_{obs}}$ la anchura de la banda de frecuencias en la que se extiende el espectro de energía del campo magnético de excitación permite evitar malgastar inútilmente energía y, por lo tanto, reducir el consumo del sensor;
- utilizar una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de corriente y/o de tensión de excitación permite precalcular una parte de la matriz pseudoinversa, lo que como continuación acelera la ejecución de los cálculos para estimar la posición y la velocidad;
- la utilización de un compensador permite incrementar la precisión de la medición;
- la utilización de un regulador permite llevar a cabo las funciones de un compensador e incrementa la linealidad del sensor;
- modificar la longitud del periodo de observación en función de la estimación de la velocidad permite incrementar la sensibilidad del sensor para las velocidades escasas; y
- la utilización de un blanco de materiales de conductividades diferentes permite limitar la sensibilidad del sensor a las variaciones de temperatura.

La invención tiene como objeto igualmente un procedimiento de medición de la posición y/o de la velocidad de una pieza móvil, tal como se define en la reivindicación 11, con la ayuda del sensor de más arriba, incluyendo este procedimiento, al final del periodo de observación T_{obs} , una etapa de estimación de la posición y/o de la velocidad del blanco a partir de N muestras de la señal eléctrica de medición y de N muestras de la corriente y/o de la tensión de excitación, extrayéndose estas muestras durante el periodo de observación T_{obs} y siendo N un entero superior a dos, siendo esta estimación de posición y/o de velocidad función de un modelo de desplazamiento del blanco durante el periodo de observación T_{obs} y siendo N un entero superior a dos, siendo esta estimación de posición y/o de velocidad función de un modelo de desplazamiento del blanco durante el periodo de observación, relacionando este modelo la posición del blanco en un instante t comprendido en el periodo de observación con al menos la posición y la velocidad que hay que estimar.

Descripción de las figuras

La invención se comprenderá mejor tras la lectura de la descripción que va a seguir, dada únicamente a título de ejemplo y hecha haciendo referencia a los dibujos en los que:

- la figura 1 es una ilustración esquemática de la arquitectura de un sensor de posición y de velocidad de una

pieza móvil;

- la figura 2 es una vista de frente de un blanco, del inductor y de los transductores del sensor de la figura 1;
 - la figura 3 es un organigrama de un procedimiento de medición de la posición de una pieza móvil con la ayuda del sensor de la figura 1; y
- 5 - la figura 4 es una ilustración esquemática de otro modo de realización de un blanco para medir una posición y una velocidad angular.

Descripción detallada de la invención

10 La figura 1 representa un sensor 2 de la posición y de la velocidad de una pieza móvil 4.

En este caso, a título de ilustración, la pieza 4 se desplaza en traslación en una dirección vertical representada por la flecha X.

15 El sensor 2 incluye:

- un inductor 10 adecuado para inducir un campo magnético de excitación periódico o alterno;
 - un blanco 12 de materiales conductores adecuado para modificar en función de su posición el campo magnético de excitación;
- 20 - un transductor 14 adecuado para transformar el campo magnético modificado por el blanco 12 en una señal eléctrica de medición;
- un transductor 16 de referencia adecuado para transformar únicamente las modificaciones del campo magnético de excitación independientes del desplazamiento del blanco 12 en la dirección X en una señal eléctrica de referencia; y
- 25 - un circuito 18 de excitación y de tratamiento de las señales, conectado al inductor 10 y a los transductores 14 y 16.

La pieza 4 y el blanco 12 están fijados el uno al otro, de manera que se desplazan de forma idéntica en la dirección X.

30 El inductor 10 y los transductores 14 y 16 están fijados sobre un soporte plano 20 dispuesto frente por frente de una cara plana 22 del blanco 12. El soporte 20 es mecánicamente independiente del blanco 12, de manera que este blanco pueda desplazarse libremente frente por frente del soporte 20 en la dirección X. Preferentemente, el soporte 20 es de material transparente a los campos electromagnéticos.

35 El blanco 12, el inductor 10 y los transductores 14 y 16 se describirán más en detalle con respecto a la figura 2.

El circuito 18 comprende:

- 40 - una unidad controlable 24 de excitación adecuada para generar una corriente alterna I_{exc} y una tensión U_{exc} de excitación del inductor 10;
 - un compensador 26 adecuado para compensar las variaciones de la señal eléctrica de medición causadas por unos defectos no aditivos en función de una consigna de referencia y de una estimación de la amplitud de estos defectos no aditivos;
- 45 - una unidad 28 de ajuste de la consigna de referencia;
- un estimador 30 adecuado para estimar el valor (\hat{A}_0) de los defectos no aditivos a partir de la señal eléctrica generada por el transductor 16; y
 - un convertidor analógico digital 32 conectado entre el transductor 16 y unas entradas del estimador 30 para transformar la señal eléctrica de referencia en una señal digital de referencia.

50 Los defectos no aditivos se traducen en este caso en una variación del valor de un factor multiplicativo \underline{A} de la posición del blanco en la señal eléctrica de medición.

55 La unidad 24 de excitación es adecuada para generar la corriente I_{exc} y la tensión U_{exc} de manera que las densidades espectrales de energía de la corriente I_{exc} y la tensión U_{exc} se extiendan continuamente sobre una banda de frecuencias $[f_{min}; f_{máx}]$. Esta banda de frecuencias $[f_{min}; f_{máx}]$ contiene al menos un 80 % y preferentemente un 90 %, de la energía de la corriente I_{exc} y de la tensión U_{exc} . De esta manera, la densidad espectral de energía del campo magnético de excitación se extiende igualmente de manera continua sobre la misma banda de frecuencias, de modo que al menos un 80 % y preferentemente un 90 %, de la energía del campo magnético de excitación esté comprendida en esta banda de frecuencias $[f_{min}; f_{máx}]$.

60 La anchura de la banda de frecuencias se elige igual a $\frac{1}{T_{obs}}$ donde T_{obs} es un periodo de observación predefinido. La frecuencia f_{min} es no nula y preferentemente superior a 10 kHz. La frecuencia media f_{mid} de la banda $[f_{min}; f_{máx}]$ es igual a la inversa del tiempo de respuesta del sensor. De este modo, la posición de la banda $[f_{min}; f_{máx}]$ se elegirá en función del tiempo de respuesta deseada o posible para este sensor.

65

La frecuencia f_{mid} se da por la siguiente relación:

$$f_{mid} = (f_{min} + f_{m\acute{a}x}) / 2 \quad (1)$$

5 El compensador 26 de defectos no aditivos es, por ejemplo, en este caso un regulador adecuado para controlar la unidad 24 en función de la separación entre la consigna de referencia suministrada por la unidad 28 y de una estimación \hat{A}_0 del valor del factor multiplicativo \underline{A} suministrado por el estimador 30.

10 Para ello, el compensador 26 tiene una entrada conectada a la unidad 28, otra entrada conectada a una salida del estimador 30 y una salida de control conectada a una entrada de la unidad 24.
El estimador 30 tiene una entrada conectada a una salida del convertidor 32 para recibir la señal digital de referencia y una entrada conectada a las salidas de la unidad 24 para recibir la tensión U_{exc} .

15 El circuito 18 incluye igualmente:

- un convertidor analógico-digital 36 conectado al transductor 14 para convertir la señal eléctrica de medición en una señal digital de medición; y
- un estimador 38 adecuado para calcular la estimación \hat{x}_0 de la posición y la estimación \hat{v}_0 de la velocidad del blanco 12 a partir de la señal digital de medición y de la tensión U_{exc} .

20 El estimador 38 tiene, por lo tanto, una entrada conectada a una salida del convertidor 36, una entrada conectada a las salidas de la unidad 24 y dos salidas para suministrar las estimaciones \hat{x}_0 y \hat{v}_0 hacia unos circuitos exteriores al sensor 2.

25 En este caso, a título de ilustración, las estimaciones \hat{x}_0 y \hat{v}_0 se suministran a la entrada de una unidad 40 de tratamientos adicionales adecuada para calcular con una mayor precisión una nueva estimación \hat{v}'_0 de la velocidad del blanco y una estimación \hat{A}'_0 de la aceleración del blanco. La unidad 40 suministra igualmente en salida la estimación \hat{x}'_0 .

30 Los detalles de las diferentes funciones de las unidades del circuito 18 se mostrarán tras la lectura de la descripción hecha con respecto a la figura 3.

35 El circuito 18 está asociado igualmente a una memoria 42 destinada a almacenar las muestras que forman las señales digitales de medición y de referencia, así como el conjunto de los datos necesarios para los cálculos que hay que ejecutar por los estimadores 30 y 38.

40 La figura 2 representa la cara 22 del blanco 12 dispuesto frente por frente de una superficie correspondiente del soporte 20. La figura 2 representa igualmente la disposición del inductor 10 y de los transductores 14 y 16 frente por frente de esta cara 22.

En la figura 2, los elementos ya descritos con respecto a la figura 1 llevan las mismas referencias numéricas.

45 La cara 22 es paralela a la dirección vertical X de desplazamiento del blanco 12 e igualmente paralela a la superficie del soporte 20.

Esta cara 22 está dividida en dos secciones S_{def} y S_{mes} dispuestas la una al lado de la otra y que se extienden verticalmente. Un límite vertical 50 separa estas dos secciones.

50 La sección S_{def} está realizada a partir de la yuxtaposición de un material 44 de conductividad C_1 y de un material 46 de conductividad eléctrica C_2 (representado en tono gris en la figura 2).

55 Los materiales 44 y 46 están dispuestos el uno al lado del otro de manera que se forme una rotura 48 de conductividad que se extiende paralelamente a la dirección X. Por ejemplo, los materiales 44 y 46 forman dos bandas de anchura constante que se extiende verticalmente de manera paralela a la dirección X.

60 Los materiales 44 y 46 se eligen de manera que las conductividades C_1 y C_2 sean muy diferentes la una de la otra. Preferentemente, la proporción entre la conductividad C_2 y la conductividad C_1 es superior o igual a 1000. Por ejemplo, en este caso, el material 44 es un aislante eléctrico cuya conductividad C_1 es inferior a 10^{-10} S/m mientras que el material 46 es un conductor eléctrico cuya conductividad C_2 es superior a 10^9 S/m, tal como el cobre.

La sección S_{mes} está realizada igualmente a partir de los mismos materiales 44 y 46. No obstante, en la sección

S_{mes} el material 46 está dispuesto de manera que se forme una banda horizontal de anchura constante que se extiende en una dirección Y perpendicularmente a la dirección X y paralelamente a la superficie del soporte 20.

5 El material 44 está dispuesto en la sección S_{mes} de manera que se formen dos bandas horizontales que se extienden en la dirección Y y yuxtapuestas respectivamente por encima y por debajo de la banda horizontal formada con la ayuda de material 46.

10 Esta disposición de los materiales 44 y 46 en la superficie S_{mes} permite crear dos roturas 52, 54 de conductividad no colineales con la dirección X. En este caso, estas roturas de conductividades 52, 54 son paralelas a la dirección Y.

El inductor 10 está formado en este caso por una bobina de una o varias espiras cuyo eje de arrollamiento es perpendicular a la cara 22. La sección del inductor 10 frente por frente de la cara 22 es lo suficientemente amplia para permitir inducir en el blanco 12 un campo magnético de excitación sustancialmente uniforme.

15 Los transductores 14 y 16 están dispuestos en el interior de los arrollamientos del inductor 10.

El transductor 14 está dispuesto al menos frente por frente de una de las roturas de conductividad horizontal 52 o 54, de manera que sea sensible a los desplazamientos de estas roturas de conductividad en la dirección X.

20 El transductor 16 y al contrario dispuesto frente por frente de la rotura 48, de manera que sea sensible a los desplazamientos del blanco 12 en la dirección X.

Los transductores 14 y 16 están formados cada uno por unas bobinas montadas de forma diferencial.

25 Más precisamente, el transductor 14 está formado por dos bobinas 56 y 58 conectadas en serie, pero arrolladas en sentido inverso la una de la otra, de modo que si el mismo campo magnético atraviesa las bobinas 56 y 58, la señal eléctrica generada por el transductor 14 es nula. Un transductor de este tipo permite obtener una zona de funcionamiento lineal alrededor del campo magnético nulo.

30 En este caso, la bobina 56 está montada frente por frente de la rotura de conductividad 52, mientras que la bobina 58 está montada frente por frente de la rotura de conductividad 54, de manera que se incrementa la sensibilidad del transductor 14 a los desplazamientos del blanco 10 en la dirección X.

De manera similar, el transductor 16 está formado por dos bobinas 60 y 62 montadas de forma diferencial.

35 La bobina 60 está dispuesta de manera que está únicamente frente por frente del material 44 y la bobina 62 está colocada de manera que está frente por frente de la rotura 48 y esto sean los que sean los desplazamientos del blanco 12 en la dirección X.

40 Los bornes de conexión del inductor 10 y de los transductores 14 y 16 al circuito 18 están representados por unos pequeños círculos en la figura 2.

Las relaciones y las anotaciones que se utilizan en la continuación de esta descripción van a introducirse ahora.

45 La fuerza electromotriz $e_{mes}(t)$ desarrollada por el transductor 14 en un instante t se da por la siguiente relación:

$$e_{mes}(t) = A \frac{dI_{exc}(t)}{dt} f(X) + \text{ruido}(t) \quad (2)$$

donde:

- 50
- A es el factor multiplicativo cuya amplitud varía en función de defectos no aditivos;
 - $\frac{dI_{exc}(t)}{dt}$ es la derivada primera con respecto al tiempo de la corriente $I_{exc}(t)$;
 - $f(X)$ es una función de transducción que da la imagen del flujo a través del transductor 14 en función de la posición X del blanco 12; y
 - 55 - "ruido(t)" es el ruido aditivo que llega a superponerse a la señal teóricamente obtenida en ausencia de ruido aditivo.

El valor del factor A depende, por ejemplo, de la geometría del blanco 12, de las conductividades C_1 y C_2 y de la distancia que separa el transductor 14 de la superficie del blanco 12 ("Lift Off" en inglés).

60 La fuerza electromotriz $e_{def}(t)$ desarrollada por el transductor 16 en el instante t se da por la siguiente relación:

$$e_{\text{def}}(t) = A \frac{dI_{\text{exc}}(t)}{dt} + \text{ruido}(t) \quad (3)$$

donde los diferentes términos de esta relación ya se han definido con respecto a la relación (2).

- 5 Se señalará que la fuerza electromotriz $e_{\text{def}}(t)$ no depende de la posición X del blanco 12, dado que la rotura de conductividad 48 frente por frente del transductor 16 es paralela a la dirección X .

10 La función de transducción $f(X)$ modula la amplitud de la señal eléctrica de medición en función de la posición X , esta función $f(X)$ puede modelizarse experimentalmente en régimen estático. Por ejemplo, el blanco 12 se lleva a una posición x_1 y se mantiene en esta posición mientras que la amplitud (es decir, el valor cresta) de la fuerza electromotriz $e_{\text{mes}}(t)$ se mide. A continuación, el blanco se desliza hasta una posición x_2 y las operaciones anteriores se reiteran.

15 A título de ilustración, en la continuación de esta descripción, se supone que la función $f(X)$ está definida por la siguiente relación:

$$f(X) = \alpha X \quad (4)$$

donde α es un coeficiente constante medido experimentalmente.

20 El desplazamiento del blanco 12 durante el periodo de observación T_{obs} se modeliza con la ayuda de un modelo de desplazamiento. Este modelo de desplazamiento está definido por la siguiente relación general:

$$X(t) = g \left[X(0), \frac{\partial X}{\partial t}(0), \dots, \frac{\partial^l X}{\partial t^l}(0), t \right] \quad (5)$$

$$t \in [-T_{\text{obs}}, 0]$$

25 donde:

- $X(t)$ es la posición del blanco a lo largo de la dirección X en el instante t que pertenece al periodo de observación $[-T_{\text{obs}}, 0]$;
- 30 - g es el modelo de desplazamiento;
- $X(0), \frac{\partial X}{\partial t}(0), \dots, \frac{\partial^l X}{\partial t^l}(0)$ corresponden respectivamente a la posición, la velocidad, la derivada segunda, ..., la derivada l -ésima de la posición en el instante $t=0$, es decir, al final del periodo de observación. Esta posición y esta o estas derivadas son las que hay que estimar.

35 El modelo de desplazamiento del blanco durante el periodo de observación T_{obs} puede, por ejemplo, obtenerse por desarrollo polinomial. En este caso, el modelo será de la siguiente forma:

$$X(t) = X(0) + \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\partial^i X}{\partial t^i}(0) \frac{t^i}{i!} \quad (6)$$

$$t \in [-T_{\text{obs}}, 0]$$

40 En la continuación de la descripción, se supone que el blanco 12 puede desplazarse a velocidad rápida durante el periodo de observación, pero que la aceleración durante este mismo periodo de observación es insignificante. En estas condiciones, el modelo de desplazamiento por el que se opta es el siguiente:

$$X(t) = X(0) + V(0)t \quad (7)$$

45 donde $X(0)$ y $V(0)$ son respectivamente la posición y la velocidad del blanco en el instante $t=0$.

Se observará que este modelo de desplazamiento traduce los conocimientos que tiene el diseñador del sensor 2 sobre los desplazamientos del blanco 12 durante el periodo T_{obs} .

Se señala f_{mues} la frecuencia de muestreo de los convertidores analógicos digitales 32 y 36. Esta frecuencia f_{mues} es superior a $\frac{E}{T_{obs}}$ y preferentemente superior a $\frac{100}{T_{obs}}$ o a $\frac{1000}{T_{obs}}$. El número N de muestras extraídas durante el periodo T_{obs} es, por lo tanto, superior a 5 y preferentemente superior a 100 o 1000. N debe como mínimo ser superior a 2.

Se señalan t_i los instantes de muestreo, correspondiendo t_0 al instante corriente ($t=0$), es decir, al final del periodo de observación T_{obs} , mientras que t_{N-1} corresponde al principio del periodo de observación, es decir, al instante $-T_{obs}$.

\vec{D} es un vector de las N muestras sucesivas de la señal eléctrica de medición. \vec{D} se define por la siguiente relación:

$$\vec{D} = \begin{pmatrix} D_{N-1} \\ D_{N-2} \\ \vdots \\ D_1 \\ D_0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

15 donde D_i representa el valor de la señal eléctrica de medición muestreada en el instante t_i

\vec{E} es un vector de las N muestras sucesivas de la derivada temporal de la corriente I_{exc} . Este vector se define por la siguiente relación:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_{N-1} \\ E_{N-2} \\ \vdots \\ E_1 \\ E_0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

20 donde E_i es la muestra de la derivada temporal de la corriente I_{exc} en el instante de muestreo t_i .

25 \vec{B} es un vector de las N muestras sucesivas de ruido definido por la siguiente relación:

$$\vec{B} = \begin{pmatrix} B_{N-1} \\ B_{N-2} \\ \vdots \\ B_1 \\ B_0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

30 donde B_i representa la amplitud del ruido aditivo en el instante de muestreo t_i . Contrariamente a los vectores \vec{D} y \vec{E} , este vector \vec{B} es aleatorio.

Utilizando las relaciones (2), (4) y (7), la relación matricial siguiente que relaciona los vectores \vec{D} y \vec{B} puede escribirse:

$$\bar{D} = M \cdot \bar{P} + \bar{B} = \begin{pmatrix} \alpha A E_{N-1} & -T_{obs} \cdot \alpha A E_{N-1} \\ \alpha A E_{N-2} & \frac{(N-2)T_{obs}}{N-1} \cdot \alpha A E_{N-2} \\ \vdots & \vdots \\ \alpha A E_1 & \frac{-T_{obs}}{N-1} \cdot \alpha A E_1 \\ \alpha A E_0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X(0) \\ V(0) \end{pmatrix} + \bar{B} \quad (11)$$

donde \bar{P} se define por la siguiente relación:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} X(0) \\ V(0) \end{bmatrix} \quad (12)$$

5

La matriz M se define en la relación (11).

10 Es posible determinar las estimaciones X_0 y V_0 respectivamente de la posición y de la velocidad del blanco 12 en el sentido de los mínimos cuadrados utilizando el método denominado de la "pseudoinversa". Este método se describe, por ejemplo, en la siguiente referencia bibliográfica:

R.M. Pringle, A. A. Rayner, "Generalized Inverse Matrices", Londres, Griffin, 1971.

15 Las estimaciones X_0 y V_0 se obtienen con la ayuda de la siguiente relación:

$$\hat{P} = (M^T M)^{-1} M^T D = QD \quad (13)$$

donde:

20

- \hat{P} es el vector estimación,
- Q es la matriz pseudoinversa;
- T designa la función transposición,
- $^{-1}$ designa la función inversa de una matriz.

25

El vector -estimación \hat{P} se define por la siguiente relación:

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} \hat{X}_0 \\ \hat{V}_0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

30 La matriz pseudoinversa Q se define por la siguiente relación:

$$Q = (M^T M)^{-1} M^T = [\bar{Q}_1; \bar{Q}_2] \quad (15)$$

35 donde \bar{Q}_1 y \bar{Q}_2 son unos vectores ortogonales que corresponden respectivamente a la primera y a la segunda columna de la matriz Q.

Se define igualmente un modelo $h(t)$ para la evolución en el transcurso del tiempo del valor del factor multiplicativo A con la ayuda de la siguiente relación:

$$A = h(t) \tag{16}$$

Se supondrá en este caso que las variaciones del valor del factor multiplicativo A presentan una aceleración insignificante. Esto se representa por el siguiente modelo:

$$h(t) = A(0) + VA(0)t \tag{17}$$

donde:

- 10 - $A(0)$ es el valor del factor multiplicativo en el instante de muestreo t_0 y
- $VA(0)$ es la velocidad de evolución de la amplitud del factor multiplicativo en el instante de muestreo t_0 .

D_d es un vector de las N muestras sucesivas de la señal eléctrica de referencia definida por la siguiente relación:

$$\vec{D}_d = \begin{bmatrix} D_{dN-1} \\ D_{dN-2} \\ \vdots \\ D_{d2} \\ D_{d1} \\ D_{d0} \end{bmatrix} \tag{18}$$

15 donde D_{di} representa el valor de la señal eléctrica de referencia en el instante t_i

\vec{B}_d es un vector de muestras de ruido aditivo presentes en la señal eléctrica de referencia se define por la siguiente relación:

$$\vec{B}_d = \begin{bmatrix} B_{dN-2} \\ B_{dN-1} \\ \vdots \\ B_{d12} \\ B_{d1} \\ B_{d0} \end{bmatrix} \tag{19}$$

25 donde B_{di} es la amplitud del ruido aditivo en el instante de muestreo t_i . Contrariamente al vector \vec{D}_d , el vector \vec{B}_d es aleatorio.

De forma similar a lo que se ha descrito con respecto a la relación (11), es posible con la ayuda de las relaciones (3) y (17) establecer la siguiente relación matricial:

$$\vec{D}_d = M_d \cdot \vec{P}_d + \vec{B}_d = \begin{bmatrix} E_{N-1} & -T_{obs} E_{N-1} \\ E_{N-2} & -\frac{(N-2)T_{obs}}{N-1} E_{N-2} \\ \vdots & \vdots \\ E_1 & -\frac{T_{obs}}{N-1} E_1 \\ E_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A(0) \\ VA(0) \end{bmatrix} + \vec{B}_d \tag{20}$$

30 donde P_d se define por la siguiente relación:

$$P_d = \begin{bmatrix} A(0) \\ VA(0) \end{bmatrix} \quad (21)$$

5 Como anteriormente, es posible determinar las estimaciones \hat{A}_0 y \hat{VA}_0 respectivamente del valor y de la velocidad de variación del factor multiplicativo \underline{A} que minimiza la separación entre el modelo representado por la relación (20) y las muestras de la señal eléctrica de referencia utilizando el método de la pseudoinversa.

Según este método, estas estimaciones se dan por la siguiente relación:

$$\hat{P}_d = (M_d^T M_d)^{-1} M_d^T D = QD \quad (22)$$

10 donde:

- la matriz M_d se define en la relación (20) y
- la matriz Q_d es la matriz pseudoinversa.

15 El vector \hat{P}_d se define por la siguiente relación:

$$\hat{P}_d = \begin{bmatrix} \hat{A}_0 \\ \hat{VA}_0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

20 La matriz pseudoinversa Q_d se define por la siguiente relación:

$$Q_d = (M_d^T M_d)^{-1} M_d = [\bar{Q}_{d1}; \bar{Q}_{d2}] \quad (24)$$

25 donde:

- \bar{Q}_{d1} y \bar{Q}_{d2} corresponden a los vectores definidos respectivamente por las primera y segunda columnas de la matriz Q_d .

30 Los diferentes parámetros de las relaciones anteriores conocidos de antemano se registran en la memoria 42. Por ejemplo, la memoria 42 contiene el valor de los siguientes parámetros: α , N , T_{obs} y \underline{A} . \underline{A} se conoce, ya que este es igual a la consigna de referencia de la unidad 28.

La memoria 42 contiene igualmente unas matrices K y K_d definidas por las siguientes relaciones:

$$K = (M^T M)^{-1} \quad (25)$$

$$35 \quad K_d = (M_d^T M_d)^{-1} \quad (26)$$

Las matrices K y K_d son independientes de los valores del vector \vec{E} cuando este está formado por muestras que forman una sucesión aleatoria o pseudoaleatoria.

40 El valor del periodo T_{obs} elegido está tradicionalmente comprendido entre 1 s y 100 μ s y, preferentemente, está comprendido entre 0,3 ms y 500 μ s para un blanco que se desplaza a una velocidad superior a 1 m/s y preferentemente a una velocidad superior a 100 m/s. En este caso, el valor del periodo T_{obs} es función de la estimación \hat{V}_0 . Más precisamente, si la estimación \hat{V}_0 crece, el periodo T_{obs} se acorta automáticamente y cuando la estimación \hat{V}_0 decrece, el periodo T_{obs} se alarga automáticamente. Esta tarea está realizada, por ejemplo, por el

45 estimador 38.

El funcionamiento del sensor 2 va a describirse ahora con la ayuda de la figura 3.

5 De manera permanente, durante una etapa 70, el compensador 26 compara la consigna de referencia suministrada por la unidad 28 con la estimación \hat{A}_0 suministrada por el estimador 30. En función de la separación entre esta consigna y esta estimación, el compensador 26 controla la unidad de excitación 24, de manera que se mantenga la amplitud del factor multiplicativo \underline{A} igual a la consigna de referencia.

10 En cada instante de muestreo corriente t_0 , el circuito 18 procede a una fase 72 de tratamiento de las señales eléctricas suministradas por los transductores 14 y 16.

15 Al principio de la fase 72, durante una etapa 74, los transductores 14 y 16 transforman el campo magnético de excitación modificado por el blanco 12 en una fuerza electromotriz $e_{mes}(t)$ y $e_{def}(t)$, respectivamente. Durante la etapa 74, estas fuerzas electromotrices se muestrean en el instante t_i por los convertidores 32 y 36, de manera que se obtengan los valores $e_{mes}(t_0)$ y $e_{def}(t_0)$.

Durante una etapa 76, estas muestras $e_{mes}(t_0)$ y $e_{def}(t_0)$ se registran en la memoria 42 en calidad de valor D_0 y D_{d0} .

20 Durante una etapa 78, el estimador 38 construye entonces a partir de las muestras registradas en la memoria el vector \vec{D} y el estimador 30 construye el vector \vec{D}_d .

25 Durante una etapa 80, el circuito 18 detecta el valor E_0 . Para ello, el circuito 18 detecta el valor de la tensión U_{exc} en el instante t_0 y lo memoriza en calidad de valor de E_0 . En efecto, la tensión U_{exc} es proporcional a la derivada de la corriente I_{exc} con respecto al tiempo y al valor de la inductancia del inductor 10.

A continuación, durante una etapa 82, el estimador 38 construye el vector \vec{E} y lo registra en la memoria 42.

30 Durante una etapa 84, el estimador 38 calcula la nueva matriz M a partir del vector \vec{E} , del valor del coeficiente α , del valor A y del periodo de observación T_{obs} registrado en la memoria 42.

A continuación, durante una etapa 86, el estimador 38 calcula la matriz pseudo= inversa Q a partir de la relación (15). Más precisamente, durante una etapa 86, el estimador 38 multiplica la matriz K prerregistrada en la memoria 42 por la matriz M^T . De este modo, al final de la etapa 86, los vectores \vec{q}_1 y \vec{q}_2 se conocen.

35 A partir de la matriz Q , durante una etapa 88, el estimador 38 estima la posición y la velocidad del blanco. Más precisamente, durante una etapa 90, el estimador 38 proyecta el vector \vec{D} sobre el vector \vec{q}_1 para obtener la estimación \hat{x}_b . Durante una operación 92, el estimador 38 proyecta igualmente el vector \vec{D}_d sobre el vector \vec{q}_2 para obtener la estimación \hat{v}_b .

40 Las estimaciones \hat{x}_b y \hat{v}_b se suministran por el sensor 2 a la unidad 40 de tratamiento adicional.

45 Durante una etapa 94, la unidad 40 pule las estimaciones suministradas por el sensor 2. Más precisamente, durante una operación 96, la unidad 40 verifica si la estimación \hat{v}_b es inferior a un umbral predeterminado U_1 . En caso afirmativo, la unidad 40 calcula una estimación \hat{v}_{i0} más precisa de la velocidad del blanco a partir de las estimaciones \hat{x}_b , \hat{x}_m donde el índice m es un número entero estrictamente superior a N . \hat{x}_i representa el valor de la estimación de la posición del blanco suministrado por el sensor 2 en el instante de muestreo t_i .

50 En el caso contrario, es decir, si la estimación \hat{v}_b es superior al umbral U_1 , esta no se modifica, de modo que \hat{v}_{i0} es igual a \hat{v}_b . La operación 96 permite mejorar la precisión de la estimación de velocidad si el valor estimado de esta velocidad por el sensor 2 es escaso. Por ejemplo, el umbral U_1 es igual a 0,01 m/s.

Durante una operación 98, la unidad 40 calcula igualmente una estimación \hat{A}_0 de la aceleración del blanco 12 a partir de las m estimaciones anteriores \hat{x}_i de la posición y/o de la velocidad \hat{v}_i .

55 A continuación, durante una etapa 100, la unidad 40 suministra las estimaciones \hat{x}_b , \hat{v}_{i0} y \hat{A}_0 .

En paralelo a las etapas 84 a 100, el estimador 30 estima el valor del factor multiplicativo A en el instante t_0 .

Más precisamente, durante una etapa 104, el estimador 30 calcula la matriz M_d a partir del vector \vec{E} memorizado. A continuación, durante una etapa 106, el estimador 30 calcula la matriz pseudoinvertida Q_d como se ha definido en la relación (24). Para ello, durante la etapa 106, el estimador 30 multiplica la matriz memorizada K_d por la transpuesta de la matriz M_d .

A continuación, durante una etapa 108, el estimador 30 estima el valor \hat{A}_0 y la velocidad \hat{V}_{A_0} , de variación del factor multiplicativo A. Más precisamente, durante una operación 110, el estimador 30 proyecta el vector \vec{D}_d sobre el vector \vec{Q}_{d1} para obtener la estimación \hat{A}_0 . Asimismo, durante una operación 112, el estimador 30 proyecta el vector \vec{D}_d sobre el vector \vec{Q}_{d2} para obtener la estimación \hat{V}_{A_0} .

A continuación, durante una etapa 114, el estimador 30 envía estimación, \hat{A}_0 al compensador 26 que utiliza esta estimación durante la etapa 70 para mantener constante el valor del factor \underline{A} .

La fase 72 se reitera en cada instante de muestreo, de modo que una nueva estimación de la posición, de la velocidad y de la aceleración del blanco 12 se construye en cada nuevo instante de muestreo.

La figura 4 representa un blanco 120 adaptado para estimar la posición y la velocidad angular de una pieza en rotación alrededor de un eje 122.

El blanco 120 tiene en este caso la forma de un disco dividido en zonas formadas a partir de materiales de diferentes conductividades y dispuestas la una con respecto a la otra de manera que se formen dos secciones S_{mes} y S_{def} .

S_{mes} es en este caso un anillo cuya mitad izquierda está formada, por ejemplo, por el material 46, mientras que la mitad derecha está formada con la ayuda del material 44. La yuxtaposición de estos dos materiales 44 y 46 crean dos roturas de conductividad 126 y 127 que se extienden radialmente.

La superficie S_{def} está colocada en el centro de la superficie S_{mes} . Esta superficie S_{def} está formada por una pastilla central circular realizada a partir del material 44. Esta pastilla central está rodeada por un anillo completo realizado con la ayuda del material 46. Una configuración de este tipo de la superficie S_{def} crea una rotura 130 de conductividad circular y centrada alrededor del eje 122.

La figura 4 representa igualmente un inductor 134 adecuado para crear un campo magnético de excitación sustancialmente uniforme y dos transductores diferenciales 136 y 138.

El transductor 136 incluye, como se ha descrito esto con respecto a la figura 2, dos bobinas montadas en serie y arrolladas en sentido inverso la una de la otra, de manera que cuando estas dos bobinas están atravesadas por el mismo campo magnético, la señal eléctrica en los bornes del transductor 136 es nula.

El transductor 136 está dispuesto frente por frente de la superficie S_{mes} , de manera que se suministre una señal eléctrica de medición en función del desplazamiento en rotación de las roturas de conductividad 126 y 127.

Como el transductor 136, el transductor 138 está formado por dos bobinas conectadas en serie y arrolladas en sentido inverso. No obstante, el transductor 136 está colocado frente por frente de la superficie S_{def} , de manera que se suministre una señal eléctrica de referencia independiente de la posición angular del disco 120.

El inductor 134 desempeña el papel del inductor 10 de la figura 1 y los transductores 136 y 138 desempeñan respectivamente el papel de los inductores 14 y 16 de la figura 1. El funcionamiento de un sensor de posición y de velocidad angular que utiliza el blanco 120 no se describirá más en detalle, por lo tanto, en este caso.

Son posibles otros numerosos modos de realización.

Por ejemplo, no es necesario que los transductores 14 y 16 o 136 y 138 estén formados por dos bobinas montadas de forma diferencial.

El material C_1 descrito como aislante puede, por ejemplo, ser aire, lo que simplifica la fabricación del blanco 120.

Si las perturbaciones no aditivas desempeñan un papel poco importante sobre la precisión de la medición, el sensor 2 puede simplificarse suprimiendo el transductor 16, así como el convertidor 32, el estimador 30, el compensador 26 y la unidad de ajuste 28.

La compensación de los defectos no aditivos se ha descrito en este caso como que está realizada con la ayuda de un compensador 26 que permite mantener constante el valor del factor multiplicativo A . Como variante, una compensación de este tipo puede realizarse igualmente dividiendo la fuerza electromotriz $e_{mes}(t)$ por la amplitud de la fuerza electromotriz $e_{def}(t)$.

5 En este último caso, un divisor de tensión se introduce entre, por una parte, el convertidor 36 y el estimador 30 y, por otra parte, el estimador 38. Este divisor de tensión efectúa la división de la fuerza electromotriz $e_{mes}(t)$ por la amplitud de la fuerza electromotriz $e_{def}(t)$ obtenida a la salida del estimador 30. El compensador 26 y la unidad de ajuste pueden suprimirse entonces.

10 Es igualmente posible compensar los defectos no aditivos multiplicando sencillamente la fuerza electromotriz $e_{mes}(t)$ por un desarrollo limitado de la amplitud de la inversa de $e_{def}(t)$. Un desarrollo limitado de este tipo puede tomar la siguiente forma:

$$15 \quad (1 - \epsilon) / A$$

La función de transducción $f(X)$ se ha descrito como que es únicamente proporcional a X . No obstante, son posibles otras formas de relaciones. Por ejemplo, la función de transducción puede tener la siguiente forma:

$$20 \quad f(X) = \alpha X + \beta$$

donde α t β son unos coeficientes conocidos.

25 En este caso los coeficientes de la función $f(X)$ se han descrito como constantes. No obstante, en el caso donde estos coeficientes no fueran constantes, es posible prever una unidad de ajuste del valor de estos coeficientes en función, por ejemplo, de la estimación \hat{X}_b .

30 El inductor y el transductor 14 se han descrito como que están formados con la ayuda de bobinados distintos. Como variante, el mismo bobinado se utiliza a la vez en calidad de inductor adecuado para crear el campo magnético de excitación y en calidad de transductor para medir el campo magnético de excitación modificado por el blanco.

35 En este caso, las roturas de conductividad eléctricas se han descrito como que están formadas yuxtaponiendo unos materiales de conductividades eléctricas diferentes. Como variante, estas roturas de conductividades eléctricas pueden obtenerse formando unas nervaduras o unas rayaduras sobre la superficie de un solo material conductor. Igualmente como variante, estas roturas de conductividad pueden, si esto es deseable, estar ocultas en el interior del material conductor.

40 Si la aceleración del blanco no es insignificante durante el periodo T_{obs} , es posible añadir un término al modelo de desplazamiento descrito en este caso que representa la aceleración del blanco durante el periodo de observación. Pueden añadirse igualmente al modelo de desplazamiento otros términos que representan unas derivadas de la posición de orden superior con respecto al tiempo si su contribución no es insignificante para la estimación de la posición del blanco. En estos últimos casos, el estimador suministrará entonces una estimación para la posición y la velocidad del blanco, así como una estimación para estas derivadas de la posición de orden superior.

45 En este caso, el modelo de desplazamiento se ha descrito como que se obtiene con la ayuda de una descomposición polinomial. No obstante, si el desplazamiento del blanco incluye unos modos vibratorios, puede obtenerse un modelo de desplazamiento con la ayuda de series de Fourier.

50 En este caso, dado que el eje de arrollamiento del transductor 16 es perpendicular a la cara 22 del blanco, este transductor 16 es sensible únicamente al defecto no aditivo en esta dirección perpendicular a la cara 22. Como variante, están previstos uno u otros varios transductores adicionales que tienen unos ejes de arrollamiento no colineales con el del transductor 16 de manera que se mida la amplitud de defecto no aditivo en unas direcciones no colineales.

55 Asimismo, pueden preverse varios inductores de excitación.

Es posible igualmente utilizar varios transductores tales como el transductor 14, por ejemplo, para mejorar la resolución angular.

60 Las secciones S_{mes} y S_{def} se han descrito como que son adyacentes la una a la otra. Como variante, estas superficies son no adyacentes y, por ejemplo, están llevadas por unos blancos espaciados espacialmente el uno del otro.

No es necesario que el inductor de excitación esté dispuesto sobre el mismo soporte que el utilizado para soportar los transductores 14 y 16. Por ejemplo, el inductor de excitación puede estar colocado por el otro lado del blanco con respecto al lado donde se encuentran los transductores 14 y 16.

- 5 Es posible igualmente controlar la unidad 24 de manera que no se extienda el espectro del campo magnético de excitación. Por ejemplo, en este caso, la corriente de excitación I_{exc} es una senoide pura a una frecuencia f_0 . En esta situación, el estimador 30 se sustituye por un desmodulador sincrónico adecuado para filtrar la señal eléctrica recibida de manera que se obtenga de ahí la amplitud del componente de frecuencia f_0 .
- 10 Si el vector \vec{E} se repite a intervalo regular T_e entonces, es posible estimar la posición únicamente todos los intervalos T_e . De esta manera, puesto que al final del intervalo T_e , el vector \vec{E} es idéntico al del principio de este intervalo, no es necesario recalcularse la matriz pseudoinversa, lo que permite acelerar los cálculos.
- 15 El blanco 12 se ha descrito como que está fijado sobre la pieza móvil. Como variante, el blanco 12 forma parte íntegra con la pieza móvil y solo forma un solo bloque con esta pieza.
La extensión de espectro del campo magnético de excitación se ha descrito como que es continua. Como variante, puede ser discreta.
- 20 Es igualmente posible calcular los valores E_i en lugar de detectarlos a la salida de la unidad de excitación 24. Es posible calcular los valores E_i cuando la evolución en el transcurso del tiempo del campo magnético de excitación se conoce de antemano. Esto puede, por ejemplo, ser el caso cuando el campo magnético de excitación es periódico.
Como variante, el blanco puede estar realizado de material magnético.
- 25 El sensor descrito más arriba puede estar adaptado para suministrar únicamente una estimación de la posición del blanco o únicamente una estimación de la velocidad del blanco. En esta variante, el vector \vec{D} está proyectado entonces únicamente ya sea sobre el vector \vec{Q}_1 ya sea sobre el vector \vec{Q}_2 según la estimación que se busca obtener.

REIVINDICACIONES

1. Sensor de posición y/o de velocidad de una pieza móvil, incluyendo este sensor:

- 5 - al menos un inductor (10) de excitación adecuado para inducir un campo magnético de excitación en función de una corriente o de una tensión de excitación de este inductor,
- al menos un blanco (12) de material conductor o magnético adecuado para modificar en función de su posición el campo magnético de excitación, siendo este blanco solidario con la pieza móvil,
- 10 - al menos un primer transductor (14) adecuado para transformar el campo magnético modificado por el blanco en una señal eléctrica de medición y
- un primer estimador (38) destinado a estimar, al final de un periodo de observación T_{obs} , al menos la posición del blanco a partir de la señal eléctrica de medición y de la corriente y/o de la tensión de excitación, **caracterizado por que** el estimador está adaptado para establecer al menos la estimación de la posición del blanco en función:
- 15 - de un modelo de desplazamiento del blanco durante el periodo de observación T_{obs} , relacionando este modelo la posición X del blanco en un instante t comprendido en el periodo de observación T_{obs} con al menos la posición y la velocidad del blanco al final de periodo de observación y estando definido por la siguiente relación:

$$X(t) = g \left[X(0), \frac{\partial X}{\partial t}(0), \dots, \frac{\partial^i X}{\partial t^i}(0), t \right] \quad (5)$$

20 donde:

- $X(t)$ es la posición del blanco en el instante t que pertenece al periodo de observación $[-T_{obs};0]$;
- g es el modelo de desplazamiento;
- 25 - $X(0), \frac{\partial X}{\partial t}(0), \dots, \frac{\partial^i X}{\partial t^i}(0)$ corresponden respectivamente a la posición, la velocidad, la derivada segunda, ..., la derivada i -ésima de la posición en el instante $t=0$, es decir, al final del periodo de observación,
- y de N muestras de la señal eléctrica de medición y de N muestras de la corriente y/o de la tensión de excitación, extrayéndose estas muestras durante el periodo de observación T_{obs} y siendo N un entero superior a dos.

30 2. Sensor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el modelo de desplazamiento se obtiene por desarrollo polinomial y presenta la siguiente forma:

$$x(t) = x(0) + \sum_{i=1}^{i=m} \frac{\partial^i x}{\partial t^i}(0) \frac{t^i}{i!}$$

35 3. Sensor según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el estimador (38) es adecuado para utilizar un periodo de observación deslizante desviado temporalmente como mucho $\frac{N-1}{N} T_{obs}$ con respecto al periodo anterior de observación utilizado para estimar la posición y la velocidad del blanco.

40 4. Sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el sensor incluye una unidad (24) de excitación adecuada para generar la corriente y/o la tensión de excitación de manera que la densidad espectral de energía del campo magnético de excitación se extienda sobre varias frecuencias comprendidas en una banda de frecuencias cuya anchura es de al menos $2/(N \cdot T_{obs})$, conteniendo esta banda de frecuencias al menos un 80 % de la energía del campo magnético de excitación.

45 5. Sensor según la reivindicación 4, **caracterizado por que** la anchura de la banda de frecuencia es como mucho igual a $2/T_{obs}$.

50 6. Sensor según la reivindicación 4 o 5, **caracterizado por que** la unidad (24) de excitación es adecuada para generar una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de corriente y/o de tensión de excitación, de manera que las N muestras de corriente y/o de tensión de excitación forman una sucesión aleatoria o pseudoaleatoria de valores y **por que** el estimador es adecuado para estimar la posición y/o la velocidad por proyección de un vector \vec{D}_1 formado por N muestras de la señal eléctrica de medición sobre al menos un vector de una matriz pseudoinversa cuyo un término de la forma $(M^T M)^{-1}$ se precalcula para varias estimaciones, donde M es una matriz, "exponente T " es la función de transposición de la matriz y "exponente -1" es la función inversa.

7. Sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la amplitud de la señal eléctrica de medición depende de un factor multiplicativo de la posición cuyo valor es susceptible de variar en función de defectos no aditivos, **caracterizado por que** este sensor incluye:

- 5 - al menos un segundo transductor (16) adecuado para transformar únicamente las modificaciones del campo magnético de excitación independientes del desplazamiento del blanco a lo largo de la dirección de medición (X) en una señal eléctrica de referencia,
- un segundo estimador (30) adecuado para estimar el valor del factor multiplicativo a partir de la señal eléctrica de referencia y
- 10 - un compensador (26) adecuado para compensar las variaciones de amplitud de la señal eléctrica de medición causadas por las variaciones del factor multiplicativo en función del valor estimado de este factor multiplicativo.

8. Sensor según la reivindicación 7, **caracterizado por que** el compensador (26) comprende un regulador adecuado para modificar el campo magnético de excitación en función de la separación entre una consigna de referencia y el valor estimado del factor multiplicativo.

9. Sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el primer estimador (30) es adecuado para aumentar automáticamente la longitud del periodo de observación cuando la estimación de la velocidad del blanco decrece.

10. Sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el blanco (12) presenta una rotura de conductividad no colineal con la dirección de medición entre dos materiales de conductividades diferentes.

11. Procedimiento de medición de la posición y/o de la velocidad de una pieza móvil con la ayuda de un sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el procedimiento incluye, al final del periodo de observación T_{obs} , una etapa (88) de estimación de la posición y/o de la velocidad del blanco a partir de N muestras de la señal eléctrica de medición y de N muestras de la corriente y/o de la tensión de excitación, extrayéndose estas muestras durante el periodo de observación T_{obs} y siendo N un entero superior a dos, siendo esta estimación de posición y/o de velocidad función de un modelo de desplazamiento del blanco durante el periodo de observación, relacionando este modelo la posición del blanco en un instante t comprendido en el periodo de observación con al menos la posición y la velocidad que hay que estimar y siendo de la forma

$$x(t) = g \left[x(0), \frac{\partial x}{\partial t} (0), \dots, \frac{\partial^i x}{\partial t^i} (0), t \right].$$

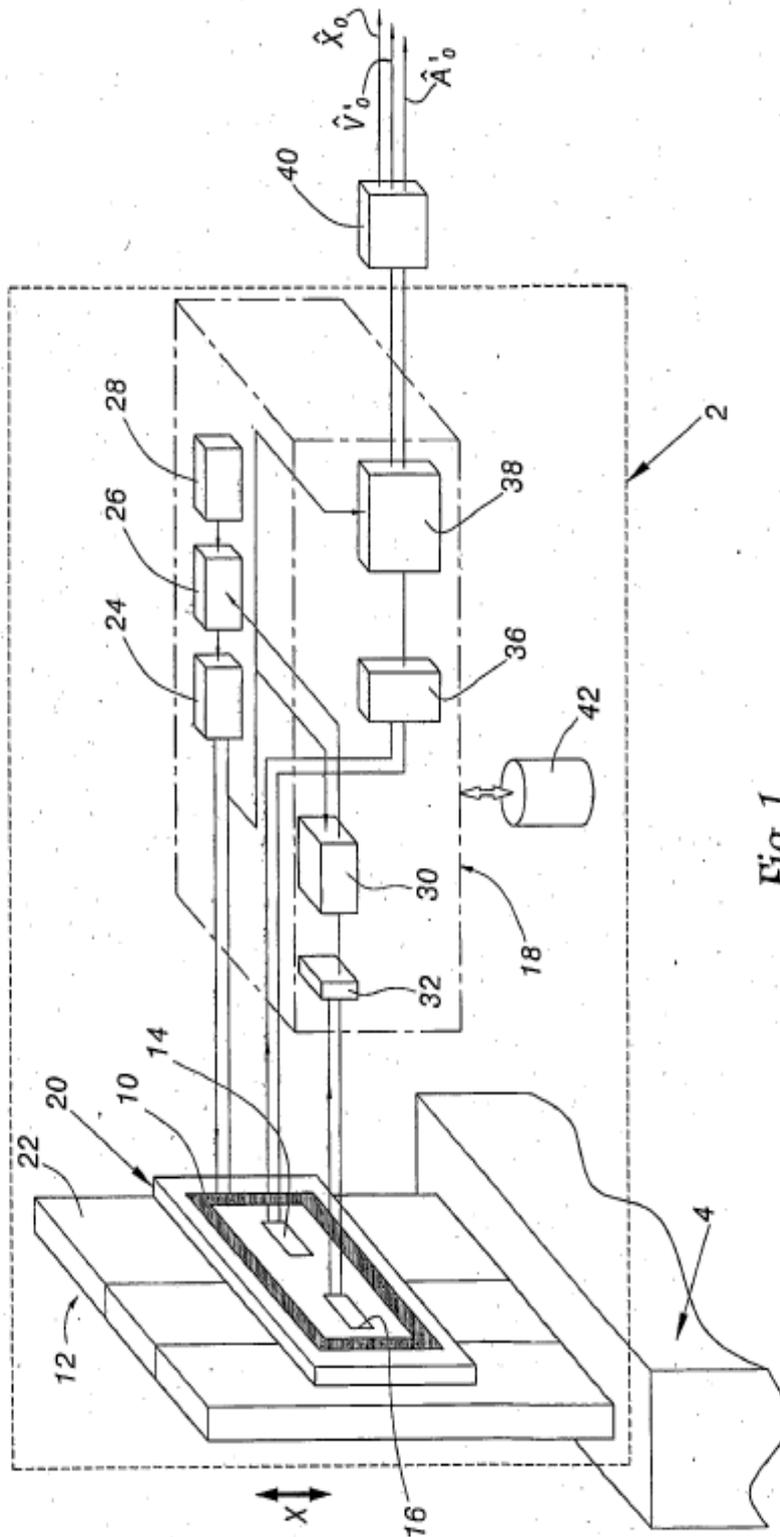


Fig. 1

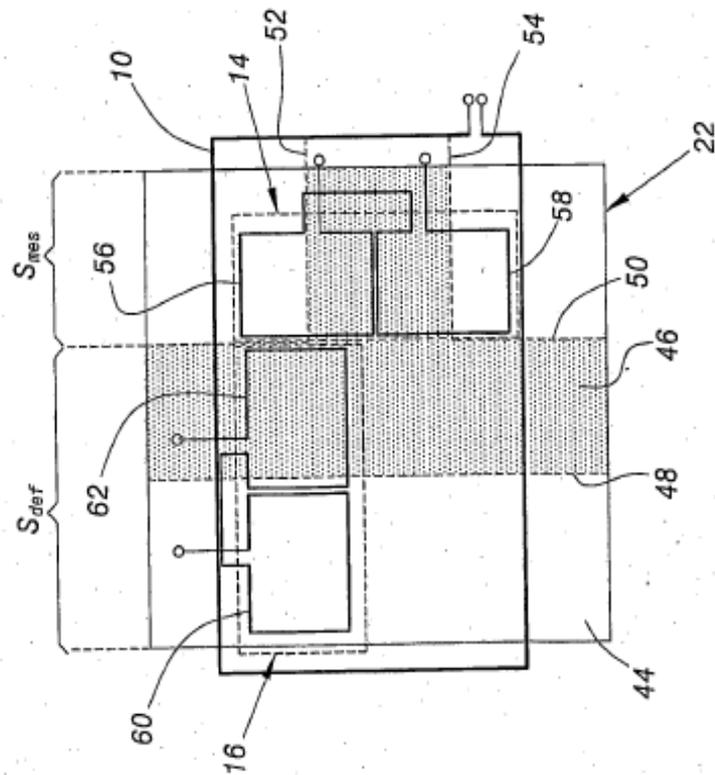


Fig. 2

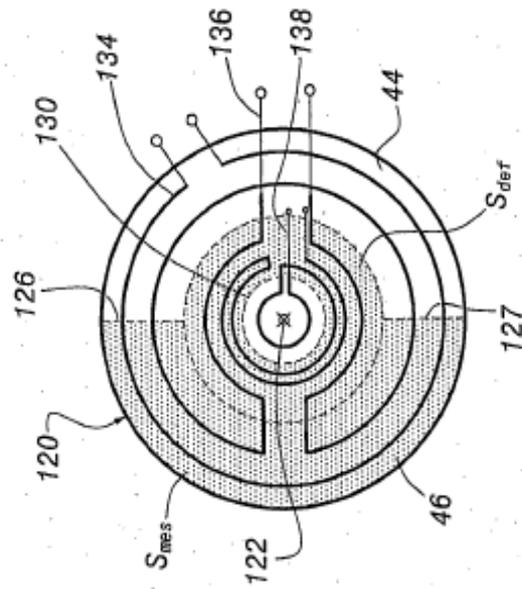


Fig. 4

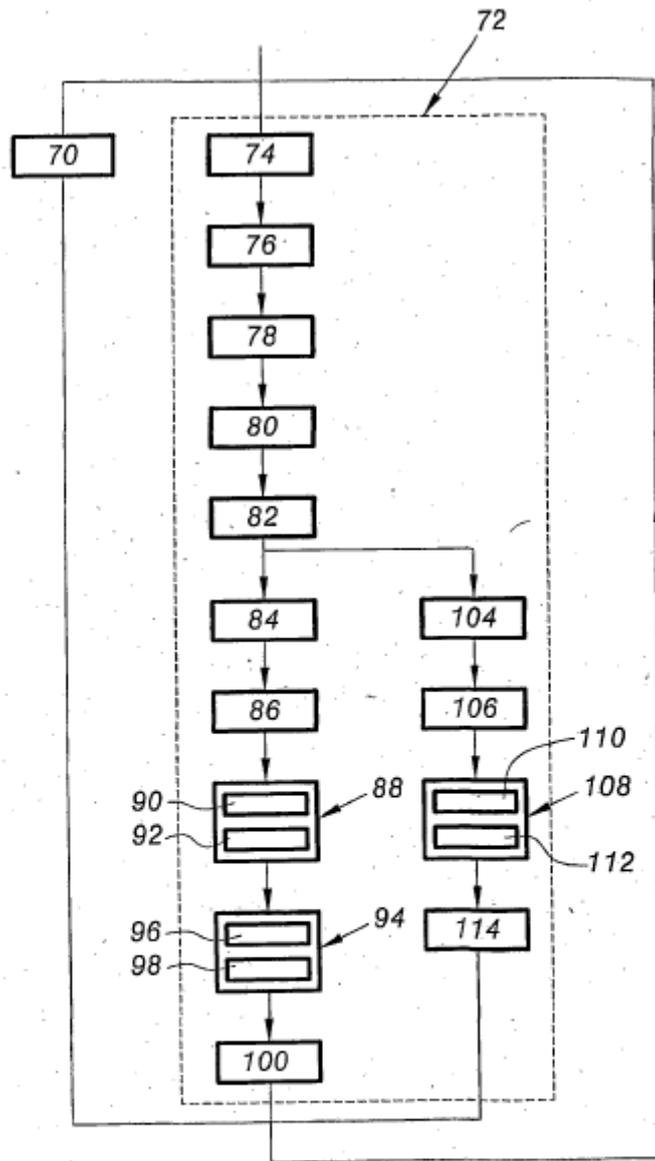


Fig.3