

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 817 124**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/20** (2006.01)

**G01P 3/44** (2006.01)

**G01D 5/245** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2016 PCT/FR2016/050055**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.07.2016 WO16113501**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2016 E 16702186 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020 EP 3245485**

54 Título: **Rodamiento que comprende un captador de desplazamiento angular**

30 Prioridad:

**13.01.2015 FR 1550232**

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

**06.04.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MANIULOUX, YOHAN y  
LEBEDEV, GOR**

74 Agente/Representante:

**VEIGA SERRANO, Mikel**

ES 2 817 124 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**

Rodamiento que comprende un captador de desplazamiento angular

**5 Sector de la técnica**

La presente solicitud se refiere al campo de los rodamientos que comprenden un captador de desplazamiento angular.

**Estado de la técnica**

10 Existen unos numerosos rodamientos instrumentados que incorporan un codificador de rotación. Habitualmente, el codificador es un codificador magnético, por ejemplo, un anillo de elastoferrita, alternativamente polarizado con unos polos positivos y negativos a lo largo de la circunferencia del codificador. El rodamiento comprende, igualmente, un captador que mide el paso de los polos durante la rotación. Unos rodamientos de este tipo son muy utilizados, por ejemplo, en unas ruedas de vehículo y forman parte de un sistema antibloqueo de las ruedas (ABS) que tiene necesidad de una medida de velocidad de cada rueda del vehículo.

20 Sin embargo, estos rodamientos instrumentados no miden más que la velocidad de rotación y no una posición angular absoluta. Además, el conjunto codificador-captador de estos rodamientos tiene una precisión muy limitada y sería deseable mejorarlo.

El documento DE 38 28 456 A1 describe un rodamiento que comprende un casquillo de rodamiento y un captador de desplazamiento angular.

25 El documento EP 0 289 033 A2 describe un captador inductivo de desplazamiento de una escala de Vernier formada sobre un objetivo metálico móvil relativo a un transductor que comprende unos arrollamientos primario y secundario.

**Objeto de la técnica**

30 De esta manera, un modo de realización prevé un rodamiento que comprende un casquillo de rodamiento y un captador inductivo de desplazamiento angular de dicho casquillo de rodamiento, comprendiendo dicho captador inductivo:

- 35 - un transductor que incluye al menos un arrollamiento primario adaptado para producir una excitación magnética y al menos un arrollamiento secundario que incluye al menos una espira, adaptado para suministrar una fuerza electromotriz en sus bornes en presencia de dicha excitación;
- un objetivo adaptado para desplazarse paralelamente al transductor; y

40 estando dicho objetivo formado por una sola pieza metálica conductora y que comprende una cara con una pared de fondo y uno o varios terminales metálicos que sobresalen desde esta pared de fondo, estando dicho objetivo girado en dirección del transductor del captador inductivo, formando, de esta manera, el o dichos terminales unos motivos conductores;

45 caracterizado por que dicho objetivo está fijado de manera robusta al casquillo de rodamiento cuyo desplazamiento angular se mide por el transductor o el objetivo está directamente mecanizado en el casquillo de rodamiento cuyo desplazamiento angular se mide por el transductor.

Según un modo de realización, el objetivo está fijado de manera robusta al casquillo de rodamiento por una técnica de montaje con fuerza metal sobre metal y/o de soldadura metal-metal.

50 Según un modo de realización, el objetivo está mecanizado por un procedimiento elegido en una lista que comprende el grabado, el sinterizado, el moldeo y la embutición.

Según un modo de realización, el o los terminales tienen una altura comprendida entre 0,1 mm y 30 mm.

55 Según un modo de realización, el o los terminales tienen una altura comprendida entre 0,5 mm y 1,5 mm.

Según un modo de realización, el objetivo tiene la forma general de un disco y los terminales están repartidos a lo largo de una banda angular circular.

60 Según la invención, los motivos conductores están repartidos a lo largo de una zona de dimensión  $D_{tot}$  en una dirección circular, estando dichos motivos definidos por la superposición de al menos un primer juego de motivos elementales periódicos de periodo aproximadamente igual a  $D_{tot}/N$ , que incluye N primeros motivos conductores elementales de dimensión aproximadamente igual a  $D_{tot}/2N$  en dicha dirección, regularmente repartidos a lo largo de dicha zona y de un segundo juego de motivos periódicos elementales de periodo aproximadamente igual a  $D_{tot}/(N+r)$ , que incluye N+r segundos motivos elementales (131k; 141k; 151k) de dimensión aproximadamente igual a  $D_{tot}/2(N+r)$  en dicha dirección, regularmente repartidos a lo largo de dicha zona, donde N es un entero superior o igual a 2 y r es un entero

positivo, no nulo e inferior o igual a  $N-1$ , en la que unos primeros y segundos motivos conductores elementales se solapan al menos parcialmente.

5 Según un modo de realización, los primeros y segundos motivos conductores elementales tienen respectivamente la forma de porciones de primera y segunda bandas superpuestas paralelas a dicha dirección.

Según un modo de realización,  $N$  es un número par.

10 Según un modo de realización,  $r$  es igual a 1.

Según un modo de realización, el casquillo de rodamiento es un casquillo de rodamiento de bolas.

### Descripción de las figuras

15 Estas características y ventajas, así como otras, se expondrán en detalle en la descripción siguiente de modos de realización particulares hecha a título no limitativo en relación con las figuras adjuntas de entre las que:

las figuras 1A y 1B son respectivamente una vista de frente y una vista de perfil que representan de manera esquemática un ejemplo de un captador inductivo de desplazamiento angular;

20 la figura 2 es un diagrama que ilustra de manera esquemática el funcionamiento del captador de la figura 1;

las figuras 3A y 3B son unas vistas de frente que representan de manera esquemática un transductor y un objetivo de otro ejemplo de captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 4 es un diagrama que ilustra de manera esquemática el funcionamiento del captador de las figuras 3A y 3B;

25 la figura 5 es una vista de frente que representa de manera esquemática un transductor de otro ejemplo de captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 6 es un diagrama que ilustra de manera esquemática el funcionamiento del captador de la figura 5;

la figura 7 es una vista de frente que representa de manera esquemática un transductor de otro ejemplo de captador inductivo de desplazamiento angular;

30 la figura 8 es un diagrama que ilustra de manera esquemática el funcionamiento del captador de la figura 7;

la figura 9A es un diagrama que representa la evolución teórica esperada de señales de salida de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 9B es un diagrama que representa la evolución real, típicamente obtenida en la práctica, de las señales de salida de un captador inductivo de desplazamiento angular;

35 la figura 10 es un diagrama que representa, para varias distancias objetivo-transductor distintas, la evolución de una señal de salida de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 11 es un diagrama que representa la evolución, en función de la distancia objetivo-transductor, del error de linealidad de una señal de salida de un captador inductivo de desplazamiento angular;

40 las figuras 12A a 12D son unas vistas en sección que ilustran de manera esquemática cuatro ejemplos de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 13A es un diagrama que representa, para los cuatro ejemplos de captador de las figuras 12A a 12D, la evolución, en función de la distancia objetivo-transductor, del error de linealidad de una señal de salida del captador;

45 la figura 13B es un diagrama que representa la evolución de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad en función de un parámetro de un ejemplo de un captador inductivo de desplazamiento;

la figura 13C es un diagrama que representa la evolución de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad en función de un parámetro de otro ejemplo de un captador inductivo de desplazamiento;

la figura 14 es una vista de frente que representa un ejemplo de una pieza de confinamiento de campo de un ejemplo de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular;

50 la figura 15 es una vista de frente que representa otro ejemplo de una pieza de confinamiento de campo de un ejemplo de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular;

las figuras 16A y 16B son unas vistas de frente que representan de manera esquemática dos ejemplos de realización de un objetivo de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 17 es un diagrama que representa la evolución, en un captador inductivo de desplazamiento angular, de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad, en función de un parámetro de forma de un motivo del objetivo;

55 la figura 18A es una vista de frente que representa de manera esquemática y parcial tres ejemplos de realización de un objetivo de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 18B es una vista de frente que representa de manera esquemática y parcial un ejemplo de realización de un arrollamiento secundario de un transductor adaptado para funcionar en cooperación con los objetivos de la figura 18A;

60 la figura 19 es un diagrama que representa la evolución, en un captador inductivo de desplazamiento angular, de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad, en función de otro parámetro de forma de un motivo del objetivo;

65 la figura 20A es una vista de frente que representa de manera esquemática un ejemplo de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 20B es una vista de frente que representa de manera esquemática un ejemplo de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento lineal;

la figura 20C es una vista de frente que representa de manera esquemática un ejemplo de un modo de realización de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 20D es una vista de frente que representa de manera esquemática un ejemplo de un modo de realización de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento lineal;

la figura 20E es una representación eléctrica de pequeñas señales del comportamiento del transductor de la figura 20D;

las figuras 21A y 21B son unas vistas de frente que representan de manera esquemática un ejemplo de realización de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento angular;

las figuras 22A y 22B son unas vistas de frente que representan de manera esquemática otro ejemplo de realización de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 23 es una vista de frente que representa de manera esquemática un objetivo de un ejemplo de captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 24 es un diagrama que representa de manera esquemática la evolución de las señales de medida del captador de la figura 23;

la figura 25 es una vista de frente que representa de manera esquemática un objetivo de un ejemplo de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 26 es una vista de frente que representa de manera esquemática un objetivo de una variante de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular;

las figuras 27A a 27C son unas vistas de frente que representan de manera esquemática otra variante de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 28 es una vista en perspectiva que representa un ejemplo de realización de un objetivo para captador inductivo de desplazamiento angular;

la figura 29 es una vista en perspectiva que representa otro ejemplo de realización de un objetivo para captador inductivo de desplazamiento angular; y

la figura 30 es una vista en perspectiva que representa un rodamiento que comprende un objetivo según el ejemplo de la figura 29.

### Descripción detallada de la invención

Por razones de claridad, los mismos elementos se han designado por las mismas referencias en las diferentes figuras y, además, las diversas figuras no se han trazado a escala. Por otra parte, en lo que sigue de la descripción, salvo indicación en contrario, los términos "aproximadamente", "sustancialmente", "alrededor", "del orden de", "casi", etc., significan "cerca del 20 % y preferentemente cerca del 5 %", o "cerca de 5° y preferentemente cerca de 2°" cuando se refieren a distancias angulares, y unas referencias direccionales tales como "vertical", "horizontal", "lateral", "por debajo", "por encima", "superior", "inferior", etc., se aplican a unos dispositivos orientados de la manera ilustrada en las vistas correspondientes, entendiéndose que, en la práctica, estos dispositivos pueden orientarse de manera diferente.

Se considera particularmente la medida inductiva de desplazamiento de una pieza mecánica con relación a otra. Por medida inductiva se entiende aquí la medida de los campos electromagnéticos alternos, por medio de bobinas eléctricas. Más particularmente pero no limitativamente, la presente solicitud se refiere al subcampo técnico de los captadores de corrientes de Foucault, en el que se establece un campo electromagnético generado por un inductor de manera diferente según la presencia y la disposición de las piezas conductoras móviles (con relación al inductor) en la proximidad del inductor. Dichos fenómenos electromagnéticos pasan a ser aprovechables con fines de instrumentación cuando ciertas frecuencias eléctricas del campo electromagnético toman unos valores suficientemente grandes, estando condicionada esta noción de importancia por varios parámetros tales como las dimensiones geométricas de las piezas conductoras, sus propiedades eléctricas y magnéticas, su temperatura, etc. Por medida de desplazamientos se entiende aquí la estimación de informaciones relativas a la posición, la velocidad, la aceleración o cualquier otra magnitud característica de los desplazamientos de la pieza conductora con relación al inductor o a la referencia del inductor. Por desplazamientos, se consideran a la vez los desplazamientos angulares (rotación alrededor de un eje), lineales (traslación según un eje), o cualquier otra combinación de dichos desplazamientos entre sí o según unos ejes disjuntos. Más particularmente pero no limitativamente, la presente solicitud se refiere a los subcampos técnicos de los captadores inductivos de posición, de los captadores inductivos de velocidad y/o de los captadores inductivos de aceleración.

Un captador inductivo de desplazamiento comprende típicamente un transductor (por ejemplo, unido a una referencia de medida, igualmente llamado armazón), y un objetivo (por ejemplo, solidario con una pieza mecánica móvil con relación a la referencia de medida). El objetivo se coloca a distancia del transductor, y no está en contacto (ni mecánicamente ni eléctricamente) con el transductor (medida sin contacto). El transductor incluye un arrollamiento primario, o inductor, adaptado para producir un campo electromagnético alterno, y al menos un arrollamiento secundario en los bornes del que se induce una tensión alterna, también llamada fuerza electromotriz o FEM, en presencia del campo electromagnético producido por el arrollamiento primario. El objetivo es un elemento parcial o totalmente conductor, también llamado inducido de acoplamiento, cuya presencia y/o desplazamiento delante del transductor modifica el acoplamiento entre el arrollamiento primario y el arrollamiento secundario. Se observará que

el efecto del objetivo sobre el acoplamiento entre el arrollamiento primario y el arrollamiento secundario depende de la posición del objetivo con relación al transductor, pero también de su velocidad con relación al transductor.

La distribución del campo electromagnético está así modelada parcialmente según la posición y el desplazamiento relativo del objetivo con relación al transductor. Durante un desplazamiento de la pieza mecánica, la distribución espacial del campo electromagnético evoluciona, y por tanto la FEM inducida en el arrollamiento secundario también evoluciona. El análisis de la FEM inducida, en los bornes del arrollamiento secundario, por el campo electromagnético producido por el arrollamiento primario, permite estimar la posición y/o el desplazamiento del objetivo con relación al arrollamiento secundario del transductor. Más particularmente pero no limitativamente, las variaciones temporales de la amplitud de la FEM en los bornes del arrollamiento secundario permiten estimar la posición, la velocidad y/o la aceleración del objetivo con relación al transductor.

Se precisa que aquí y en lo que sigue de la presente solicitud, por amplitud de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes del arrollamiento secundario, se hace referencia al valor instantáneo tomado por una señal de contenido en frecuencia limitado, por ejemplo en una banda de frecuencia comprendida entre  $-\Delta f$  y  $+\Delta f$  alrededor de la frecuencia de excitación (es decir la frecuencia de la tensión alterna aplicada a los bornes del arrollamiento primario), pudiendo tomar  $\Delta f$  por ejemplo un valor comprendido entre 100 Hz y 100 kHz, portadora de la información o de una parte de la información característica del desplazamiento mecánico. Esta señal está contenida en la fuerza electromotriz, modulada a la frecuencia de excitación y/o de sus armónicos. Puede obtenerse mediante un procedimiento de transposición en frecuencia y de filtrado, y más precisamente mediante una transposición a banda base y un filtrado. Un ejemplo preferente de dicho procedimiento consiste en realizar una demodulación sincrónica de la fuerza electromotriz (modulada) mediante una señal sincrónica de la frecuencia de excitación, y cuya fase eléctrica se ha elegido para responder a unos criterios particulares, por ejemplo, para maximizar la señal obtenida a la salida de la demodulación. Un procedimiento alternativo consiste en calcular el módulo de la señal después de la demodulación sincrónica, lo que presenta la ventaja y el inconveniente de no fijar la fase eléctrica de demodulación. Se precisa igualmente que la amplitud de la fuerza electromotriz es una magnitud de medida preferente para la implementación de una medida de desplazamiento con los captadores objeto de la invención, pero que no es en ningún caso exclusiva de otras magnitudes eléctricas de medida tales como la fase, la frecuencia, o también la potencia eléctrica en el secundario cuando se le conecta una carga de valor finito en los bornes del arrollamiento secundario (adaptación de carga).

Unos ejemplos de captadores inductivos de desplazamiento, y más particularmente de captadores de posición de corrientes de Foucault se han descrito en la patente EP0182085.

Los captadores inductivos de desplazamiento conocidos presentan sin embargo diversos inconvenientes. En particular, los captadores conocidos son relativamente sensibles a las imprecisiones de montaje (descentrado, inclinación y/o distancia objetivo/transductor), así como a la presencia de piezas conductoras en la proximidad de la zona de medida, lo que plantea problemas para una explotación industrial. Pueden además plantearse problemas vinculados a la ausencia de linealidad de la respuesta del captador. Además, debería mejorarse la precisión y la robustez de la estimación de posición y/o el desplazamiento del objetivo en los captadores conocidos. Además, sería deseable poder aumentar la extensión del intervalo de medida de ciertos tipos de captadores conocidos. Por otra parte, un inconveniente de los captadores conocidos es que son relativamente frágiles, lo que plantea problemas en ciertos tipos de aplicación, principalmente en el medio industrial.

Sería deseable poder disponer de captadores inductivos de desplazamiento que palien en todo o en parte los inconvenientes de los captadores conocidos.

Se consideran aquí particularmente unos captadores de desplazamiento angular, y más precisamente unos captadores de desplazamiento angular de forma general aproximadamente plana, por ejemplo, unos captadores que tengan una forma general de disco, o, más generalmente, unos captadores que tengan una forma de banda anular circular de apertura angular inferior o igual a  $360^\circ$ . Se entenderá sin embargo de la lectura que sigue que todos los ejemplos de realización, modos de realización y variantes de realización descritos en la presente solicitud pueden adaptarse a otros tipos de captadores inductivos de desplazamiento, por ejemplo, a unos captadores inductivos de desplazamiento lineal del tipo descrito en la patente EP0182085 anteriormente mencionada. La adaptación de los ejemplos y modos de realización descritos en la presente solicitud a otros tipos de captadores inductivos de desplazamiento está al alcance del experto en la materia y no se detallará por tanto a continuación en el presente documento.

A título de ejemplo ilustrativo, pero no limitativo, los captadores inductivos descritos en la presente solicitud e ilustrados en las figuras tienen unas dimensiones características (diámetro para los captadores angulares y anchura para los captadores lineales) comprendidas entre 5 mm y 200 mm, y preferentemente comprendidas entre 40 mm y 50 mm.

Las figuras 1A y 1B son respectivamente una vista de frente y una vista de perfil que representan de manera esquemática un ejemplo de un captador inductivo de posición angular 100 de tipo plano, que presenta una forma general de disco.

El captador 100 comprende un transductor 110 que incluye un arrollamiento conductor primario 101 y un arrollamiento conductor secundario 103. En la figura 1B, los arrollamientos primario y secundario del transductor 110 no se han detallado. Preferentemente, el arrollamiento primario 101 comprende dos espiras o bucles conductores 101a y 101b aproximadamente circulares, concéntricos y coplanares, de sentidos de arrollamiento opuestos y de radios distintos. Cada espira 101a, 101b del arrollamiento primario 101 comprende al menos una vuelta, y preferentemente varias vueltas. Las espiras 101a y 101b están preferentemente conectadas en serie de manera que sean recorridas por corrientes de la misma intensidad, pero de sentidos de circulación opuestos, pero pueden opcionalmente conectarse en paralelo de manera que se vea una misma tensión en sus bornes (aplicada preferentemente de manera que los sentidos de circulación de la corriente en las dos espiras sean opuestos). Una ventaja del ejemplo de la disposición de arrollamiento primario de la figura 1 es que permite producir un campo de excitación sustancialmente uniforme en la banda anular situada entre las dos espiras, y sustancialmente nulo fuera de esta banda. A título de variante, el arrollamiento primario 101 puede incluir una única espira (de una o varias vueltas). De manera más general, el arrollamiento primario 101 puede incluir una o varias espiras concéntricas (de una o varias vueltas cada una) dispuestas de manera que generen un campo electromagnético en la zona de medida del transductor. Los modos de realización descritos no se limitan a estas disposiciones particulares del arrollamiento primario.

En el ejemplo representado, el arrollamiento secundario 103 está constituido por una espira o bucle conductor dispuesta en el espacio en forma de banda anular circular situada entre las espiras 101a y 101b. El arrollamiento 103 se sitúa por ejemplo aproximadamente en el mismo plano que las espiras 101a y 101b o en un plano sustancialmente paralelo.

En este ejemplo, en vista de frente, la espira 103 sigue sustancialmente el contorno del sector angular de apertura angular  $\alpha$  de la banda anular delimitada por las espiras 101a y 101b. La espira 103 comprende principalmente unas porciones radiales y unas porciones orto-radiales del contorno de la porción de la banda anular. Un arrollamiento de ese tipo permite una medida de la posición angular sobre un intervalo de  $\alpha^\circ$ . En el ejemplo representado, la apertura angular  $\alpha$  de la espira 103 es aproximadamente igual a  $30^\circ$ . Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a este caso particular. A título de variante, el ángulo  $\alpha$  puede tomar cualquier valor comprendido entre 0 y  $180^\circ$ . La espira 103 comprende preferentemente una única vuelta, pero puede comprender opcionalmente varias vueltas. Los arrollamientos primario 101 y secundario 103 se disponen por ejemplo en y sobre un mismo soporte dieléctrico (no representado) en forma de placa de algunos centímetros a algunos milímetros de grosor, por ejemplo, un soporte de tarjeta de circuito impreso de tipo PCB (del inglés "Printed Circuit Board").

El captador 100 comprende además un objetivo 111 que comprende un motivo conductor 107, situado a una distancia no nula del transductor y adaptado para desplazarse con relación al transductor. En la figura 1A, solo se ha representado la parte conductora 107 del objetivo. En este ejemplo, el motivo conductor 107 del objetivo 111 tiene sustancialmente la misma forma que la porción de la banda anular delimitada por el motivo de la espira 103 del transductor. El objetivo se monta móvil en rotación alrededor de un eje Z ortogonal al plano del transductor que pasa por el centro de las espiras 101a y 101b, de tal manera que, cuando el objetivo gira un ángulo  $2\alpha$  alrededor del eje Z, el motivo conductor 107 (de apertura angular  $\alpha$ ), recubre aproximadamente de modo integral y posteriormente descubre aproximadamente de modo integral la superficie de la banda anular delimitada por la espira del arrollamiento secundario 103 del transductor. A título de ejemplo no limitativo, el objetivo puede estar constituido por una placa de un material dieléctrico, por ejemplo, en la forma de disco, del que una cara girada hacia el transductor está parcialmente revestida con una capa de un material conductor, magnético o no, por ejemplo, una capa metálica, por ejemplo, una capa de hierro, de acero, de aluminio, de cobre, etc., que forma el motivo conductor 107. A título de variante, el objetivo puede estar constituido únicamente por una porción de placa metálica recortada en la forma del motivo conductor 107, montada por cualquier medio adaptado de manera que pueda desplazarse en rotación con relación al transductor por encima de la porción de la banda anular delimitada por las espiras 101a y 101b.

El funcionamiento del captador 100 de las figuras 1A y 1B se describirá ahora en relación con la figura 2 que representa la evolución de la amplitud de la fuerza electromotriz V en los bornes del arrollamiento secundario 103 del captador en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo 111 con relación al transductor 110.

Durante el funcionamiento, se impulsa por los medios eléctricos la circulación de una corriente alterna  $I_p$  en el arrollamiento primario 101. La circulación de la corriente  $I_p$  en el arrollamiento 101 produce un campo electromagnético B que presenta, en ausencia de objetivo, una distribución sustancialmente simétrica por revolución en la banda anular circular recorrida por el arrollamiento secundario 103. A título de ejemplo no limitativo, la frecuencia de la corriente alterna de excitación  $I_p$  impuesta en el arrollamiento primario está comprendida entre 500 kHz y 50 MHz (por ejemplo 4 MHz). La amplitud de la corriente  $I_p$  está comprendida por ejemplo entre 0,1 mA y 100 mA (por ejemplo 2 mA). En ausencia de objetivo 111, o, más generalmente, cuando el motivo conductor 107 del objetivo no recubre el arrollamiento secundario 103, el arrollamiento secundario 103 suministra entre sus extremos una FEM alterna V, de frecuencia sustancialmente igual a la frecuencia de excitación del arrollamiento primario, y de amplitud a priori no nula. Cuando el motivo conductor 107 del objetivo 111 recubre todo o parte del arrollamiento secundario 103, la distribución espacial del campo electromagnético en la proximidad de la espira 103 evoluciona en función de la disposición y del desplazamiento de la porción de la superficie del motivo conductor 107 situada enfrente de la espira 103. Otra formulación consiste en considerar que bajo el efecto de la excitación magnética generada por la circulación de la corriente  $I_p$  en el arrollamiento primario, aparecen corrientes de Foucault en el motivo conductor 107, que implican

una modificación de la distribución espacial del campo electromagnético en función de la disposición y el desplazamiento de la porción de la superficie del motivo 107 situada enfrente de la espira 103. Estas evoluciones o variaciones de la distribución espacial del campo electromagnético función de la disposición y el desplazamiento de la porción de la superficie del motivo 107 situada enfrente de la espira 103, se producen, por inducción, mediante unas variaciones o evoluciones de la amplitud  $V$  de la envolvente de la tensión en los bornes al arrollamiento secundario, función de la disposición y del desplazamiento de la porción de la superficie del motivo 107 situada enfrente de la espira 103.

Se considera a título de ejemplo ilustrativo no limitativo que el objetivo puede desplazarse en rotación alrededor del eje  $Z$  con relación al transductor, en un intervalo de posiciones angulares que van de  $\theta=-\alpha^\circ$  a  $\theta=\alpha^\circ$ . Se considera arbitrariamente que la posición  $\theta=-\alpha^\circ$  corresponde a la disposición representada en la figura 1A, en la que el motivo conductor 107 no enmascara la espira 103, pero tiene, visto desde arriba, un borde radial incorporado a un borde radial de la espira 103. De este modo, para las posiciones angulares  $\theta$  que van de  $-\alpha^\circ$  a  $0^\circ$ , la superficie de la porción del motivo conductor 107 situada enfrente de la espira 103 crece cuando la posición angular  $\theta$  crece, y después, para las posiciones angulares  $\theta$  que van de  $0^\circ$  a  $\alpha^\circ$ , la superficie de la porción del motivo conductor 107 enfrente de la espira 103 decrece cuando la posición angular  $\theta$  crece. Fuera del intervalo de posiciones angulares que van de  $\theta=-\alpha^\circ$  a  $\theta=\alpha^\circ$ , la superficie de la porción del motivo conductor 107 enfrente de la espira del arrollamiento secundario 103 es nula, y la posición  $y/o$  el desplazamiento del objetivo 111 con relación al transductor no pueden medirse.

La amplitud  $V$  de la envolvente de la tensión medida en los bornes de un arrollamiento secundario de un captador inductivo de desplazamiento es teóricamente proporcional al área de la porción de superficie del motivo conductor del objetivo situado enfrente del arrollamiento secundario. De este modo, como se observa en la figura 2, para las posiciones angulares  $\theta$  que van de  $-\alpha^\circ$  a  $0^\circ$ , la señal  $V$  disminuye cuando la posición angular  $\theta$  crece, pasando de un valor alto  $V_{\text{máx}}$  para  $\theta = -\alpha^\circ$  a un valor bajo  $V_{\text{mín}}$  para  $\theta=0^\circ$ , y para las posiciones angulares  $\theta$  que van de  $0^\circ$  a  $\alpha^\circ$ , la señal  $V$  crece cuando la posición angular  $\theta$  crece, pasando del valor bajo  $V_{\text{mín}}$  para  $\theta = 0^\circ$  al valor alto  $V_{\text{máx}}$  para  $\theta=\alpha^\circ$ . La señal  $V$  es por tanto teóricamente una señal triangular que varía linealmente entre  $V_{\text{mín}}$  y  $V_{\text{máx}}$  sobre el intervalo angular que va de  $-\alpha^\circ$  a  $\alpha^\circ$ . Se verá en el presente documento a continuación que, en la práctica, la señal  $V$  presenta unas zonas de no linealidad y tiene en consecuencia más bien una forma sinusoidal.

De este modo, en el intervalo de posiciones angulares que van de  $\theta=-\alpha^\circ$  a  $\theta=0^\circ$ , o en el intervalo de posiciones angulares que van de  $\theta=0^\circ$  a  $\theta=\alpha^\circ$ , la medida de la amplitud  $V$  de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes del arrollamiento secundario 103 permite determinar la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor. Aunque el valor de la señal  $V$  varía en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo en los dos intervalos de posiciones angulares anteriormente mencionados, la medida de la señal  $V$  no permite discriminar los valores de posición del intervalo que va de  $-\alpha^\circ$  a  $0^\circ$  de los valores de posición del intervalo que va de  $0^\circ$  a  $\alpha^\circ$  (medida no subjetiva). La extensión del intervalo de las posiciones angulares que pueden medirse efectivamente por el captador 100 es por tanto aproximadamente igual a  $\alpha^\circ$ , siempre que el ángulo  $\alpha$  no sobrepase  $180^\circ$ .

Las figuras 3A y 3B son unas vistas de frente que representan de manera esquemática otro ejemplo de un captador inductivo de posición angular que presenta una forma general de disco. Este captador comprende un transductor 112 representado en la figura 3A y un objetivo 114 representado en la figura 3B. El objetivo 114 de la figura 3B difiere del objetivo 111 de la figura 1A principalmente por su motivo conductor. En particular, el objetivo 114 de la figura 3B difiere del objetivo 111 de la figura 1A en que no comprende ya un único motivo conductor 107, sino un juego de  $N$  motivos conductores  $117_i$  solidarios con el objetivo, y adaptados para desplazarse con relación al transductor, siendo  $N$  un entero superior o igual a 2 y siendo  $i$  un entero que va de 1 a  $N$ . El transductor 112 de la figura 3A difiere del transductor 110 de la figura 1A principalmente por la forma de su arrollamiento secundario 113. En particular, el arrollamiento secundario 113 del transductor 112 de la figura 3A ya no comprende una única espira conductora, sino un juego de  $N$  espiras  $113_i$ . El objetivo 114 de la figura 3B está destinado a montarse móvil en rotación con relación al transductor 112 de la figura 3A, de manera similar o idéntica a lo que se ha descrito en relación con las figuras 1A y 1B.

En este ejemplo, en vista de frente, el juego de motivos conductores  $117_i$  y el juego de espiras  $113_i$ , están constituidos por la repetición por revolución de  $N$  motivos sustancialmente idénticos, respectivamente  $117_i$  y  $113_i$ . La repetición por revolución de estos motivos se realiza con una periodicidad espacial de  $2\alpha$ , es decir que cada motivo de apertura angular sustancialmente igual a  $\alpha^\circ$  está separado de su vecino más próximo por una porción de banda anular circular vacía de extensión orto-radial sustancialmente igual a  $\alpha^\circ$ .

Para unos captadores cuya forma general es una banda anular circular cerrada, es decir de apertura angular igual a  $360^\circ$ , el ángulo de apertura  $\alpha$  de los motivos se elige preferentemente tal que  $\alpha = 360^\circ/2N$ , con el fin de garantizar un número entero de repeticiones de motivos por vuelta (sobre  $360^\circ$ ). En el ejemplo de las figuras 3A y 3B,  $N = 6$  y  $\alpha = 30^\circ$ .

En otras palabras, el transductor de la figura 3A comprende un arrollamiento secundario 113 que comprende  $N$  bucles o espiras  $113_i$  en serie. Cada espira  $113_i$  tiene una forma en sector de banda anular circular, del mismo tipo que la espira 103 de la figura 1A, y presenta una dimensión angular aproximadamente igual a  $\alpha=360^\circ/2N$  (es decir  $\alpha=30^\circ$  en este ejemplo). Las  $N$  espiras  $113_i$  se reparten regularmente a lo largo del  $360^\circ$  de la banda anular circular aproximadamente delimitada por las espiras 101a y 101b del arrollamiento primario 101, es decir que dos espiras  $113_i$

consecutivas del arrollamiento secundario están separadas por una porción de banda anular de ángulo aproximadamente igual a  $\alpha$ .

5 El objetivo de la figura 3B comprende N motivos conductores  $117_i$ . Cada motivo  $117_i$  tiene una forma en sector de banda anular, del mismo tipo que el motivo conductor 107 de la figura 1, y una dimensión angular aproximadamente igual a  $\alpha=360^\circ/2N$ . Los N motivos conductores  $117_i$  están regularmente repartidos a lo largo de una banda anular del objetivo destinada a posicionarse enfrente de la banda anular del transductor que contiene las espiras  $113_i$ .

10 En lo que sigue de la presente solicitud, se denominará captador multipolo a los captadores del tipo descrito en relación con las figuras 3A y 3B, designando N el número de pares de polos del captador. En el ejemplo de la figura 1A, si  $\alpha$  toma el valor  $180^\circ$ , se habla de captador de un par de polos. Más particularmente, se designará por captador multipolo a un captador en el que un motivo conductor elemental se repite regularmente al menos dos veces sobre el objetivo según una dirección paralela a un grado de libertad de desplazamiento del objetivo con relación al transductor (es decir según una dirección orto-radial en un captador angular del tipo descrito anteriormente).

15 Por analogía con el periodo eléctrico de un motor eléctrico de varios pares de polos, se hará referencia en adelante a la apertura angular entre dos motivos adyacentes  $117_i$ , y a la apertura angular entre dos motivos adyacentes  $113_i$ , como que es el periodo eléctrico del captador. En el caso particular del captador de las figuras 3A y 3B, para el que los motivos conductores son de apertura angular  $\alpha^\circ$  y los espacios vacíos entre estos motivos son igualmente de apertura angular  $\alpha^\circ$ , el periodo eléctrico es igual a  $2\alpha^\circ$ , y, a la inversa, la apertura angular de un motivo conductor vale un semiperiodo eléctrico del captador, lo que es un caso preferente pero no exclusivo. Por construcción, para los captadores cuya forma general es una banda anular circular cerrada, un periodo eléctrico es preferentemente un submúltiplo de  $360^\circ$ , puesto que  $\alpha = 360^\circ/2N$ . En estos términos, un captador inductivo multipolo dispone de un intervalo de medida de  $\alpha^\circ$ , igual a la mitad de su periodo eléctrico de  $2\alpha^\circ$ . En el ejemplo de la figura 1A, si  $\alpha$  toma el valor  $180^\circ$ , el periodo eléctrico es igual a  $360^\circ$ , y el intervalo de medida es aproximadamente igual a la mitad del periodo eléctrico, es decir  $180^\circ$ . En el ejemplo de las figuras 3A y 3B para las que  $\alpha = 30^\circ$ , el periodo eléctrico es  $2\alpha = 60^\circ$ , y el intervalo de medida es aproximadamente igual a la mitad del periodo eléctrico es decir  $\alpha = 30^\circ$ .

20 La figura 4 es un diagrama que representa la evolución de la amplitud V de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes del arrollamiento secundario 113 del captador de las figuras 3A y 3B en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor.

35 Como se observa en la figura 4, cuando la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor varía de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , la señal V varía de manera periódica entre un valor alto  $V_{\max}$  y un valor bajo  $V_{\min}$ , con un periodo angular de variación aproximadamente igual al periodo eléctrico  $2\alpha$  del captador.

La amplitud del intervalo de las posiciones angulares  $\theta$  que puede medirse por el captador de las figuras 3A y 3B es aproximadamente igual a la mitad del periodo eléctrico, es decir  $\alpha^\circ$ .

40 Una ventaja del captador de las figuras 3A y 3B con relación al captador de las figuras 1A y 1B es que el número mayor de motivos repartidos sobre el objetivo y sobre el transductor permite una medida repartida sobre una zona de medida extendida, en la que cada motivo contribuye de manera local y constructiva a la generación de una fuerza electromotriz global, siendo esta fuerza electromotriz más inmune a los errores de posicionamiento del objetivo con relación al transductor que en el captador de las figuras 1A y 1B, en el que la medida realizada es una medida local efectuada por medio de un único juego de motivos 107-103. Esta robustez de la medida es tanto mayor cuanto más elevado es el número N de pares de polos del captador.

50 La figura 5 ilustra una variante de realización del captador de las figuras 3A y 3B. En la figura 5, solo se ha representado el transductor del captador, siendo idéntico el objetivo al de la figura 3B.

55 El transductor del captador de la figura 5 comprende los mismos elementos que el transductor de la figura 3A, y comprende además un segundo arrollamiento secundario  $113'$  que comprende N bucles o espiras  $113'_i$  en serie. Por razones de claridad, las conexiones entre los diferentes bucles  $113_i$  del arrollamiento 113 y las conexiones entre los diferentes bucles  $113'_i$  del arrollamiento  $113'$  no se han representado en la figura 5. El arrollamiento secundario  $113'$  (representado en trazo discontinuo) es sustancialmente idéntico al arrollamiento secundario 113 (representado en trazo continuo), y se dispone en la misma banda anular del transductor que el arrollamiento secundario 113, con un desplazamiento angular correspondiente a un cuarto del periodo eléctrico del captador, es decir aproximadamente igual a  $\alpha/2$ , con relación al arrollamiento secundario 113.

60 La figura 6 es un diagrama que representa la evolución de la amplitud V (en trazo continuo) de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes del arrollamiento secundario 113 del captador de la figura 5, y la evolución de la amplitud V' (en trazo discontinuo) de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes del arrollamiento secundario  $113'$  del captador de la figura 5, en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor.

65 Como se observa en la figura 6, cuando la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor varía de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , las señales V y V' varían de manera periódica entre un valor alto  $V_{\max}$  y un valor bajo  $V_{\min}$ , con un periodo de

variación igual al periodo eléctrico del captador, es decir aproximadamente igual a  $2\alpha^\circ$  en este ejemplo, y con un desplazamiento angular relativamente entre ellas sustancialmente igual a un cuarto del periodo eléctrico del captador, es decir de aproximadamente  $\alpha/2^\circ$  en este ejemplo.

5 Una ventaja del transductor de la figura 5 con relación al transductor de la figura 3A es que permite extender el intervalo de las posiciones angulares  $\theta$  que pueden medirse por el captador hasta aproximadamente un periodo eléctrico entero (es decir  $2\alpha^\circ$ ), en lugar de un semiperiodo (es decir  $\alpha^\circ$ ) en el ejemplo de las figuras 3A y 3B.

10 La figura 7 ilustra otra variante de realización del captador de las figuras 3A y 3B. En la figura 7, solo se ha representado el transductor del captador, siendo idéntico el objetivo al de la figura 3B.

15 El transductor del captador de la figura 7 difiere del transductor de la figura 3A principalmente por la forma de su arrollamiento secundario. El transductor del captador de la figura 7 comprende un arrollamiento secundario 123 que comprende 2N bucles o espiras de sentidos de arrollamiento alternos, conectadas entre ellas en serie. En otras palabras, el arrollamiento secundario 123 comprende 2N motivos de circuitos eléctricos o espiras, estando cada uno conectado a su vecino más próximo en anti-serie. Más particularmente, el arrollamiento 123 comprende N espiras  $123_{i+}$  del mismo sentido de arrollamiento, sustancialmente idénticas a las N espiras  $113_i$  del transductor de la figura 3A, y comprende además N espiras  $123_{i-}$  de sentido de arrollamiento opuesto, estando dispuesta cada espira  $123_{i-}$  entre dos espiras  $123_{i+}$  consecutivas, y teniendo cada espira  $123_{i-}$  una forma de sector de banda anular circular, del mismo tipo que las espiras  $123_{i+}$ . Por razones de claridad, las conexiones entre las espiras  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$  del arrollamiento 123 no se han representado en la figura 7, y los dos sentidos de arrollamiento se han esquematizado por un signo + para las espiras  $123_{i+}$  y por un signo - para las espiras  $123_{i-}$ .

25 De manera más precisa, en el ejemplo de la figura 7, la apertura angular  $\alpha$  de cada espira  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$  se ha elegido estrictamente inferior a un semiperiodo eléctrico con el fin de permitir una representación gráfica más legible. En la práctica, la apertura angular  $\alpha$  de cada espira  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$  puede aproximarse a un semiperiodo eléctrico por valor inferior, por valor exacto, o por valor superior. En el caso particular en el que la apertura angular vale exactamente un semiperiodo eléctrico, que es un ejemplo preferido pero no exclusivo de realización, la suma de las aperturas angulares de las N espiras  $123_{i+}$  y de las aperturas angulares de las N espiras  $123_{i-}$  vale  $360^\circ$ , o dicho de otra forma, las pistas radiales consecutivas de las dos espiras  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$  adyacentes comparten las mismas coordenadas espaciales en una referencia  $\{R, \theta\}$  (no representada) dirigida por el eje Z y que tiene por centro el centro del captador. Esto no significa por supuesto por ello que estas pistas estén mezcladas y que las espiras  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$  estén en cortocircuito, en la medida en la que dichas pistas pueden colocarse sobre dos planos distintos según el eje Z.

35 El periodo espacial de repetición entre dos espiras adyacentes  $123_{i+}$ , y el periodo espacial de repetición entre dos espiras adyacentes  $123_{i-}$ , se mantienen iguales a un periodo eléctrico del captador cualquiera que sea la apertura angular  $\alpha$  de las espiras  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$ . Un ejemplo preferente pero no limitativo de implementación de un juego de espiras de ese tipo de apertura angular diferente de un semiperiodo eléctrico del captador, consiste en repartir regularmente orto-radialmente las espiras  $123_{i+}$  y  $123_{i-}$  tal como se ha ilustrado en la figura 7.

40 La figura 8 es un diagrama que representa la evolución de la amplitud V de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes del arrollamiento secundario 123 del captador de la figura 7 en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor.

45 Como se observa en la figura 8, cuando la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor varía de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , la amplitud V varía de manera periódica entre un valor alto  $V_{m\acute{a}x}$  y un valor bajo  $V_{m\acute{i}n}$ , con un periodo de variación aproximadamente igual a un periodo eléctrico.

50 Una ventaja del transductor de la figura 7 con relación al transductor de la figura 3A es que la amplitud V está centrada aproximadamente alrededor de 0 voltios ( $V_{m\acute{i}n} \approx -V_{m\acute{a}x}$ ). De manera más general, la implementación de una medida espacialmente diferente, tal como la que se describe por ejemplo en relación con la figura 7, permite obtener una amplitud V de media reducida con relación a los valores  $V_{m\acute{i}n}$  y  $V_{m\acute{a}x}$ . Esto simplifica el aprovechamiento de la medida con fines de estimación del desplazamiento, y en particular reduce la influencia de las derivadas y perturbaciones parásitas.

55 En efecto, ciertas variaciones de la amplitud V vinculadas a efectos parásitos, es decir cuyo origen no es el desplazamiento del objetivo, se traducen únicamente en una variación de la ganancia en el caso del captador de la figura 7, mientras que se traducen a la vez en una variación de la ganancia y en una variación de la desviación en el caso del captador de la figura 3A. Este es por ejemplo el caso cuando el coeficiente de acoplamiento entre el primario, el objetivo y el secundario varía debido a una variación parásita de la distancia objetivo-transductor. Este es también el caso cuando la amplitud de la corriente de excitación varía, por ejemplo, en caso de fluctuación parásita de la tensión de alimentación, o en caso de derivaciones de las propiedades eléctricas del arrollamiento primario, por ejemplo, en función de la temperatura o del alejamiento relativo del transductor y del objetivo.

65 Por otro lado, en el ejemplo de la figura 7, el acoplamiento del arrollamiento secundario con unos campos exteriores no portadores de información sobre el desplazamiento del objetivo, se reduce considerablemente debido al carácter

espacialmente diferencial de la medida. Este es el caso en particular para la parte del campo electromagnético generada por el primario que induce la parte constante (independiente de la posición del objetivo) de la amplitud de la FEM, pero igualmente para todas las perturbaciones electromagnéticas externas que presentan una distribución sustancialmente uniforme en la proximidad del arrollamiento secundario 123.

La variante de la figura 7 puede combinarse con la variante de la figura 5 para obtener dos señales de amplitud  $V$  y  $V'$  desplazadas angularmente en un cuarto de periodo eléctrico y centradas en aproximadamente 0 voltios.

Se observará que el hecho de que la amplitud  $V$  de la envolvente de la FEM esté aproximadamente centrada en 0 voltios no significa necesariamente que la fuerza electromotriz modulada verifique estas mismas propiedades antes de la implementación de un procedimiento de transposición en frecuencia y de filtrado. Generalmente, la fuerza electromotriz (modulada) presenta un valor medio no nulo, ya sea debido a una referencia voluntaria de uno de los dos bornes del arrollamiento secundario a un potencial eléctrico definido (masa eléctrica, por ejemplo), o sea debido a una referencia por acoplamiento capacitivo de su potencial medio al potencial del entorno (por ejemplo, la masa mecánica) en caso de medida de alta impedancia en el nivel del arrollamiento secundario. Este ejemplo ilustrativo aplicado al valor medio de la fuerza electromotriz, se aplica igualmente a cualquier componente de frecuencia de la señal eléctrica, cualquiera que sea su origen, tanto si se encuentra fuera de una banda de frecuencia de interés  $-\Delta f$  a  $+\Delta f$  alrededor de la frecuencia de modulación o, dicho de otra manera, si se encuentra fuera de una banda de frecuencia de interés  $-\Delta f$  a  $+\Delta f$  alrededor de la frecuencia nula como resultado del procedimiento de transposición en frecuencia.

#### Primer aspecto

La figura 9A es un diagrama que representa la evolución teórica esperada de las señales de amplitud  $V$  y  $V'$  en función de la posición angular  $\theta$ , en un captador inductivo del tipo descrito anteriormente que combina las funciones de realización de las figuras 5 (dos secundarios desplazados espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico) y 7 (cada secundario comprende 2N espiras de sentidos de arrollamiento alternos). Como se observa en la figura 9A, las amplitudes  $V$  y  $V'$  teóricas esperadas son unas señales periódicas triangulares de periodo igual al periodo eléctrico del captador, variando linealmente entre los valores  $V_{\min}$  y  $V_{\max}$ , con un desplazamiento angular de un cuarto de periodo eléctrico relativamente entre ellas. En efecto, en teoría, como se indica en la patente EP0182085 anteriormente mencionada (columna 12, líneas 22 a 57), la amplitud de la envolvente de la tensión medida en los bornes del arrollamiento secundario de un captador inductivo es proporcional al área de la porción de superficie de los motivos conductores del objetivo situada enfrente de este arrollamiento secundario. Ahora bien, en los ejemplos de realización descritos anteriormente, la porción de la superficie conductora del objetivo situada enfrente de los motivos de los circuitos eléctricos o espiras del arrollamiento secundario varía linealmente con la posición angular  $\theta$ , para los motivos 123<sub>i</sub> como para los motivos 123<sub>j</sub> de la figura 7. Las señales  $V$  y  $V'$  deberían por tanto variar linealmente por porciones en función de la posición  $\theta$ .

Los presentes inventores han constatado sin embargo que, en la práctica, la variación de las señales  $V$  y  $V'$  en función de la posición  $\theta$ , presenta generalmente grandes zonas no lineales en un periodo eléctrico del captador. De manera más precisa, en la práctica, la variación de las señales  $V$  y  $V'$  en función de la posición  $\theta$  presenta claramente dos zonas sustancialmente lineales de extensión reducida en un periodo eléctrico del captador, estando estas zonas aproximadamente centradas sobre los pasos por cero de las amplitudes  $V$  y  $V'$ , pero, entre estas zonas lineales, se intercalan unas zonas saturadas y de hecho menos lineales, estando estas zonas aproximadamente centradas sobre unos extremos de las amplitudes  $V$  y  $V'$ .

La reducida linealidad de las amplitudes  $V$  y  $V'$  en función de la posición  $\theta$  presenta inconvenientes. En particular, a título de ejemplo no limitativo, disponer unos intervalos de linealidad reducidos no permite aprovechar integralmente los métodos de tratamiento de la señal descritos en las patentes FR2914126 y FR2891362.

La figura 9B es un diagrama que representa la evolución real, típicamente obtenida en la práctica, de las señales  $V$  y  $V'$  en función de la posición angular  $\theta$  en un captador inductivo del tipo descrito anteriormente. Como se observa en la figura 9B, las señales  $V$  y  $V'$  no varían linealmente más que en unas porciones de extensión angular  $\alpha_L$  reducida del intervalo de medida del captador, llamadas intervalos de linealidad. A título de ejemplo, cada intervalo de linealidad  $\alpha_L$  tiene una extensión comprendida entre el 20 % y el 90 % del semiperiodo eléctrico del captador (igual a  $\alpha^\circ$  en el ejemplo representado). El intervalo de linealidad  $\alpha_L$  se define por ejemplo como el intervalo angular máximo, sustancialmente centrado sobre el valor medio de la amplitud  $V$ , para el que es posible encontrar una aproximación lineal  $V_L$  a la amplitud  $V$ , tal que la diferencia  $E_L$  entre la aproximación lineal  $V_L$  y la amplitud  $V$  sea inferior a un umbral  $E_{L0}$ , siendo definido por ejemplo el umbral  $E_{L0}$  como un porcentaje de los extremos de la amplitud  $V$ , por ejemplo en una gama de valores comprendidos entre 0,01 % y 10 % de los extremos de la amplitud  $V$  según el grado de linealidad buscado para el captador. En otras palabras, el intervalo de linealidad  $\alpha_L$  es el intervalo angular máximo en el que la amplitud  $V$  evoluciona sustancialmente linealmente con la posición del objetivo con relación al transductor, en una posición máxima cerca del valor fijo  $E_{L0}$ . En la práctica, se desea generalmente hacer lo contrario, a saber, evaluar el error de linealidad máxima  $E_{LM}$  sobre un intervalo angular  $\alpha_L$  dado, por ejemplo, pero no limitativamente el intervalo angular en el que se desea realizar la medida. También, otra manera de apreciar la linealidad de un captador es evaluar el error de linealidad  $E_{LM}$ , definido como la diferencia máxima entre la amplitud  $V$  y su aproximación lineal  $V_L$

para un intervalo  $\alpha_L$  dado. De manera preferida pero no limitativa, el intervalo de linealidad deseado para un captador de dos arrollamientos secundarios es de al menos el 50 % de un semiperiodo eléctrico, por ejemplo, comprendido entre el 50 % y el 80 % de un semiperiodo eléctrico cuando los desplazamientos a medir son rápidos y la observación de varias muestras de la amplitud necesita de hecho ir más allá del 50 % de un semiperiodo eléctrico. En otro ejemplo preferido, el intervalo de linealidad deseado para un captador de tres arrollamientos secundarios es de al menos el 33 % de un semiperiodo eléctrico, por ejemplo, comprendido entre el 33 % y el 50 % del semiperiodo eléctrico cuando los desplazamientos a medir son rápidos. En la continuación, salvo mención en contrario y sin que esto se considere como una elección excluyente, se limitará a presentar un captador de dos arrollamientos secundarios, y por razones de legibilidad se limitará a presentar el error de linealidad sobre un intervalo de linealidad deseado del 50 % de un semiperiodo eléctrico, sin hacer mención explícita a estas condiciones, y con referencia al error de linealidad definido en estas condiciones por la simple mención del error de linealidad  $E_L$ .

Los presentes inventores han constatado principalmente que, para una distancia objetivo-transductor dada (y para un intervalo  $\alpha_L$  dado), el error de linealidad  $E_L$  es generalmente tanto más elevado cuanto mayor es el número N de polos del captador.

Por tanto, esta limitación no va en el sentido de la utilización industrial de un captador inductivo en la medida en la que una utilización de ese tipo requiere generalmente un número de polos elevado, típicamente  $N=6$ , para garantizar una medida robusta como se ha indicado anteriormente.

Sería deseable poder disponer de captadores inductivos de desplazamiento, y principalmente de captadores multipolo, que presentan un error de linealidad más reducido (o unos intervalos de linealidad más extendidos) que los captadores existentes, principalmente con el fin de facilitar el aprovechamiento de las amplitudes suministradas por el captador. A título de ejemplo no limitativo, la extensión de los intervalos de linealidad puede permitir ventajosamente aprovechar unos métodos de tratamiento de la señal descritos en las patentes FR2914126 y FR2891362.

Según un primer aspecto, se busca, en un captador inductivo de desplazamiento, y principalmente (pero no únicamente) un captador multipolo, por ejemplo un captador de dos pares de polos o más y preferentemente un captador de seis pares de polos o más, reducir el error de linealidad  $E_L$  sobre un intervalo angular  $\alpha_L$  dado, por ejemplo sobre un intervalo  $\alpha_L$  que se extiende sobre la mitad del semiperiodo eléctrico del captador para un captador de dos arrollamientos secundarios, o sobre un intervalo  $\alpha_L$  que se extiende sobre un tercio de un semiperiodo del periodo eléctrico para un captador de tres arrollamientos secundarios. Se puede considerar también que se busca aumentar la extensión del intervalo de linealidad del captador, es decir la extensión del intervalo de las posiciones, incluido en el intervalo de medida del captador, en el que la amplitud de la envolvente de la fuerza electromotriz en los bornes de un arrollamiento secundario del captador varía aproximadamente linealmente en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor.

Los estudios llevados a cabo por los presentes inventores han mostrado que la extensión del intervalo de linealidad de un captador inductivo depende de la distancia objetivo-transductor  $d$ , a veces llamada entrehierro, es decir la distancia entre el plano medio del o de los arrollamientos secundarios del transductor, y los motivos conductores del objetivo. A título de ejemplo, la distancia objetivo-transductor  $d$  se define como la distancia entre el plano medio del o de los arrollamientos secundarios del transductor y la superficie de los motivos conductores del objetivo vuelta hacia el transductor.

La figura 10 es un diagrama que representa, para varias distancias objetivo-transductor distintas en un captador inductivo del tipo descrito anteriormente (por ejemplo, del tipo descrito en relación con la figura 7, con  $N=6$  pares de polos), la evolución de la amplitud  $V$  de la envolvente de la fuerza electromotriz medida en los bornes de un arrollamiento secundario del transductor en función de la posición angular  $\theta$  del objetivo. La curva  $V1$  representa la evolución de la amplitud  $V$  para una distancia objetivo-transductor  $d1$ , la curva  $V2$  representa la evolución de la amplitud  $V$  para una distancia objetivo-transductor  $d2$  inferior a  $d1$ , y la curva  $V3$  representa la evolución de la amplitud  $V$  para una distancia objetivo-transductor  $d3$  inferior a  $d2$ . La recta  $V11$ , de puntos, representa la aproximación lineal de la amplitud  $V1$ , la recta  $V12$ , de puntos, representa la aproximación lineal de la amplitud  $V2$  y la recta  $V13$ , de puntos, representa la aproximación lineal de la amplitud  $V3$ . Como se observa en la figura 10, la señal  $V$  presenta, a la distancia  $d3$ , una amplitud máxima superior a la amplitud máxima obtenida a las distancias  $d2$  y  $d1$ . En cambio, el error de linealidad  $E_{L2}$  de la amplitud  $V$ , a la distancia  $d2$ , es inferior a los errores de linealidad  $E_{L1}$  y  $E_{L3}$  de la amplitud  $V$  a las distancias  $d1$  y  $d3$  respectivamente.

La figura 11 es un diagrama que representa la evolución, en función de la distancia objetivo-transductor, del error de linealidad  $E_L$  de la amplitud  $V$  de la envolvente de la fuerza electromotriz medida en los bornes de un arrollamiento secundario del transductor de un captador inductivo de desplazamiento, por ejemplo, un captador del tipo descrito en relación con la figura 7 (con  $N=6$  pares de polos). En este ejemplo, el error de linealidad  $E_L$  corresponde, en un intervalo de posiciones angulares  $\theta$  dado que se extiende por ejemplo sobre la mitad del periodo eléctrico del captador (sobre una porción monótona de la FEM), a la diferencia máxima (en valor absoluto) entre una aproximación lineal de la respuesta del captador y la respuesta real medida. Como se observa en la figura 11, existe una distancia objetivo-transductor óptima  $d_{opt}$  para la que el error de linealidad  $E_L$  pasa por un mínimo. De manera más general, los presentes inventores han constatado que un mínimo de error de linealidad es observable en todos los tipos de captadores

inductivos de desplazamiento, cualquiera que sea el número de pares de polos principalmente. Este valor mínimo se alcanza para una distancia objetivo-transductor óptima que depende de la configuración del captador (y principalmente del número de pares de polos). Es por tanto teóricamente posible obtener una respuesta lineal cualquiera que sea el captador inductivo. Por teóricamente, se entiende que cuando el número de pares de polos  $N$  es particularmente grande, la distancia  $d_{opt}$  se convierte en extremadamente reducida hasta el punto de que no puede ser medible en la práctica debido a la limitada precisión y a las restricciones de implementación de los instrumentos de medida adaptados.

Según un primer modo de realización, se prevé un captador inductivo de desplazamiento en el que la distancia objetivo-transductor  $d$  está comprendida entre 0,8 y 1,5 veces la distancia  $d_{opt}$  para la que el error de linealidad de la amplitud medida por el captador es mínima. Se observará que esta distancia óptima puede determinarse fácilmente por ensayos, por ejemplo, mediante el trazado de curvas del tipo representado en la figura 11.

Los presentes inventores han constatado sin embargo que en la práctica, para ciertos captadores, y principalmente captadores que presenten un número  $N$  grande de pares de polos, típicamente superior o igual a tres e incluso más particularmente para  $N$  superior o igual a seis, la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad puede ser relativamente reducida, por ejemplo inferior a 0,2 mm, lo que puede plantear problemas para ciertos tipos de medida, principalmente en los entornos industriales en los que dichas distancias son difícilmente aceptables, principalmente debido a las tolerancias de fabricación, montaje y utilización.

Por otra parte, los presentes inventores han constatado que la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad es función de varios otros parámetros, tales como los parámetros geométricos del captador tal como el diámetro exterior del transductor y/o del objetivo. Más particularmente, los presentes inventores han constatado que cuando el diámetro de los captadores aumenta, la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad aumenta y puede tomar un valor relativamente grande, por ejemplo, superior a 1 mm, lo que puede plantear problemas para ciertos tipos de medida, principalmente en unos entornos industriales en los que se desea garantizar una cierta compacidad.

En el caso en que la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad es incompatible (demasiado grande o demasiado reducida) con el entorno de medida, se puede prever colocarse a una distancia objetivo-transductor lo más próxima posible a la distancia óptima en los límites de las restricciones del entorno, y corregir la no linealidad mediante la aplicación de un tratamiento matemático (post-tratamiento) de la señal de medida. Los presentes inventores han constatado sin embargo que en la práctica esta solución presenta limitaciones en términos de precisión y de robustez, y no da satisfacción principalmente para la implementación de los métodos de tratamiento de la señal descritos en las patentes FR2914126 y FR2891362.

Una primera solución propuesta por los presentes inventores e ilustrada por las figuras 12A a 12D, 13A a 13C, 14 y 15, es añadir al captador una pieza suplementaria de confinamiento de campo electromagnético, colocada a una distancia particular del arrollamiento primario del transductor, elegida de manera que se aumente significativamente la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad.

Las figuras 12A a 12D son unas vistas en sección que ilustran de manera esquemática cuatro ejemplos de realización de un captador inductivo de desplazamiento.

En el ejemplo de la figura 12A, el captador comprende un transductor 201 y un objetivo 203, dispuestos a una distancia objetivo-transductor  $d$  (siendo  $d$  en este ejemplo la distancia entre el plano medio del o de los arrollamientos secundarios del transductor y el plano de la superficie de los motivos conductores del objetivo vuelto hacia el transductor), y no comprende una pieza suplementaria de confinamiento de campo.

En el ejemplo de la figura 12B, el captador comprende un transductor 201 y un objetivo 203, dispuestos a una distancia objetivo-transductor  $d$ , y comprende además una pieza suplementaria 205 de confinamiento de campo de un material conductor, realizada por ejemplo del mismo material que los motivos conductores del objetivo, o en cualquier otro material conductor, magnético o no, tal como hierro, acero, aluminio, cobre, etc... En este ejemplo, la pieza 205 se dispone del lado del objetivo 203 opuesto al transductor 201 (es decir que el objetivo 203 se sitúa entre el transductor 201 y la pieza 205), estando la superficie de la pieza 205 vuelta hacia el objetivo 203 preferentemente aproximadamente paralela al plano medio del transductor, y por tanto igualmente aproximadamente paralela al plano medio del objetivo (salvo por las imprecisiones de montaje). La pieza de confinamiento de campo 205 es preferentemente periódica según una dirección paralela al grado de libertad en desplazamiento del captador, es decir periódica por revolución (alrededor de un eje que es aproximadamente el eje de simetría del objetivo) en el caso de un captador de posición angular, siendo preferentemente el período espacial de los motivos conductores de la pieza de confinamiento distintos de los motivos conductores del objetivo. A título de ejemplo ilustrativo, pero no limitativo, la pieza 205 es simétrica por revolución. La pieza 205 se dispone a una distancia pieza-transductor  $l$ , definida en este ejemplo como la distancia entre el plano medio del o de los arrollamientos primarios del transductor, y el plano de la superficie del o de los motivos conductores de la pieza vuelta hacia el transductor. La pieza 205 está preferentemente unida al objetivo, es decir móvil con relación al transductor cuando la posición del objetivo con relación al transductor evoluciona.

En el ejemplo de la figura 12C, el captador comprende un transductor 201 y un objetivo 203, dispuestos a una distancia objetivo-transductor  $d$ , y comprende además una pieza suplementaria 205' de confinamiento de campo, por ejemplo, idéntica o similar a la pieza 205 de la figura 12B. La pieza 205' es preferentemente periódica de revolución, y por ejemplo simétrica de revolución, alrededor de un eje de simetría que es aproximadamente el eje de simetría del arrollamiento primario del transductor. En este ejemplo, la pieza 205' se coloca del lado del transductor 201 opuesto al objetivo 203 (es decir que el transductor 201 se sitúa entre el objetivo 203 y la pieza 205'). La pieza 205' se dispone a una distancia pieza-transductor  $l'$ . A título de ejemplo, la distancia  $l'$  se define como la distancia entre el plano medio del o de los arrollamientos primarios del transductor, y el plano de la superficie del o de los motivos conductores de la pieza vuelta hacia el transductor. La pieza 205' está preferentemente unida al transductor, es decir fija con relación al transductor cuando la posición del objetivo con relación al transductor evoluciona.

En el ejemplo de la figura 12D, el captador comprende un transductor 201 y un objetivo 203 dispuestos a una distancia objetivo-transductor  $d$ , una primera pieza de confinamiento de campo 205 (por ejemplo idéntica o similar a la pieza 205 de la figura 12B) dispuesta del lado del transductor 201 opuesto al objetivo 203, a una distancia  $l$  del transductor, y una segunda pieza de confinamiento de campo 205' (por ejemplo idéntica o similar a la pieza 205' de la figura 12C), dispuesta del lado del objetivo 203 opuesto al transductor 201, a una distancia  $l'$  del transductor (es decir que el transductor 201 y el objetivo 203 se sitúan entre las piezas 205 y 205').

Las piezas 205 y/o 205' pueden conectarse eléctricamente o no, puntualmente o de manera distribuida espacialmente, a otros elementos del captador. En particular, la pieza 205 puede conectarse eléctricamente a uno o varios motivos conductores del objetivo, y la pieza 205' puede conectarse eléctricamente a un potencial eléctrico disponible en el transductor, por ejemplo, en un punto de un arrollamiento secundario, en un punto del arrollamiento primario, o a la masa eléctrica del transductor.

La figura 13A es un diagrama que incluye cuatro curvas  $E_{LA}$ ,  $E_{LB}$ ,  $E_{LC}$  y  $E_{LD}$  que representan respectivamente, para los cuatro ejemplos de captador de las figuras 12A a 12D, la evolución del error lineal  $E_L$  del captador en función de la distancia objetivo-transductor. Cada una de las curvas  $E_{LA}$ ,  $E_{LB}$ ,  $E_{LC}$  y  $E_{LD}$  es del mismo tipo que la curva de la figura 11, es decir que pasa por un valor mínimo de error de linealidad para una cierta distancia objetivo-transductor óptima, respectivamente  $d_{optA}$ ,  $d_{optB}$ ,  $d_{optC}$  y  $d_{optD}$ . Como se observa en la figura 13A, la distancia  $d_{optA}$  es inferior a la distancia  $d_{optB}$  que es a su vez inferior a la distancia  $d_{optC}$  que es a su vez inferior a la distancia  $d_{optD}$ . Los ensayos realizados por los presentes inventores han demostrado que la adición de una o de varias piezas suplementarias de confinamiento de campo puede aumentar desde varias décimas de milímetro a varios milímetros la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad de un captador inductivo de desplazamiento.

El posicionamiento según el eje Z de la o las piezas suplementarias de confinamiento de campo, y más precisamente la distancia entre esta o estas piezas y el arrollamiento primario del transductor, tiene una influencia sobre la eficacia del aumento de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad como resultado de la adición de esta o de estas piezas. Existe(n) por tanto una(s) distancia(s) óptima(s)  $l_{opt}$  y/o  $l_{opt}'$  entre el arrollamiento primario y la o las piezas suplementarias de confinamiento de campo, tal(es) que la distancia objetivo-transductor óptima  $d_{opt}$  se aumenta para alcanzar un valor comprendido entre 0,65 y 1,25 veces la distancia  $d$  a la que se desea ver funcionar el captador, pudiendo estar comprendido este valor deseado, por ejemplo pero no limitativamente, entre 0,5 y 1,5 mm, que es un intervalo de valores compatibles con diversas aplicaciones industriales.

La figura 13B es un diagrama que representa la evolución, para un captador inductivo de desplazamiento angular del tipo descrito anteriormente, de la distancia objetivo-transductor  $d_{opt}$  óptima en términos de linealidad, en función de la relación de la distancia pieza-primario  $d_{pipr}$  sobre la distancia objetivo-primario  $d_{cpr}$ , en el caso de la adición de la pieza suplementaria 205' de confinamiento de campo como se representa en la figura 12C o 12D. Como se observa en la figura 13B, la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad es tanto mayor cuanto más reducida es la relación  $d_{pipr}/d_{cpr}$ .

La figura 13C es un diagrama que representa la evolución, para un captador inductivo de desplazamiento angular del tipo descrito anteriormente, de la distancia objetivo-transductor  $d_{opt}$  óptima en términos de linealidad, en función de la relación de la distancia pieza-primario  $d_{pipr}$  sobre la distancia objetivo-primario  $d_{cpr}$ , en el caso de la adición de la pieza suplementaria 205 de confinamiento de campo como se representa en la figura 12B o 12D. Como se observa en la figura 13C, la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad es tanto mayor cuanto más reducida es la relación  $d_{pipr}/d_{cpr}$ .

En otras palabras, si se considera el transductor como un conjunto en el que no se distinguen las capas constitutivas, se puede decir que la distancia objetivo-transductor óptima  $d_{opt}$  es tanto mayor cuanto más pequeña es la relación  $l/d$  (respectivamente  $l'/d$ ).

En estas condiciones, un ejemplo ilustrativo, pero no limitativo de posicionamiento de las piezas suplementarias de confinamiento de campo de la figura 12D, es colocar:

- la pieza superior 205'a una distancia del arrollamiento primario aproximadamente comprendida entre 0,5 y 2 veces

- la distancia que separa el arrollamiento primario y la superficie de los motivos conductores del objetivo;
- la pieza inferior 205 a una distancia del arrollamiento primario aproximadamente comprendida entre 1,3 y 3 veces la distancia que separa el arrollamiento primario de la superficie de los motivos conductores del objetivo.

5 De este modo, para una configuración de captador dada, la relación  $d_{\text{pipr}}/d_{\text{cpr}}$  y/o la relación  $d_{\text{pipr}}/d_{\text{cpr}}$  pueden elegirse de tal forma que la distancia  $d_{\text{opt}}$  sea compatible con las limitaciones de la aplicación, por ejemplo, sea superior o igual a 0,3 mm, por ejemplo, comprendida entre 0,3 y 10 mm, y preferentemente comprendida entre 0,5 y 1,5 mm, principalmente para un captador que incluya un número N de pares de polos grande, por ejemplo,  $N \geq 4$  y preferentemente  $N \geq 6$ .

10 Se observará que la elección anteriormente mencionada de la distancia entre la pieza de confinamiento de campo y el transductor no es generalmente óptima en términos de nivel de señal suministrado por el o los arrollamientos secundarios del transductor. En efecto, a esta distancia, la pieza conductora 205/205' provoca la disminución no despreciable del nivel de las señales V y V' suministradas por el transductor. Se observa en particular que, en el estado  
15 de la técnica de la medición inductiva de desplazamiento angular, es conveniente alejar al máximo las piezas conductoras susceptibles de modificar la distribución espacial del campo electromagnético que se establece en presencia únicamente de los elementos primario, secundario y objetivo. Este criterio de dimensionamiento se aplica en particular en el caso de pantallas electrostáticas (o pantallas de blindaje), que, cuando se prevén, se disponen a unas distancias según el eje Z muy superiores a las instancias previstas en los modos de realización descritos, de  
20 manera que no se atenúe demasiado el nivel de la señal útil medida al nivel del secundario.

No obstante, los modos de realización propuestos definen un compromiso que puede ser razonable en aplicaciones para las que la linealidad es importante, y principalmente en aplicaciones en las que se desea implementar unos métodos de tratamiento de la señal del tipo descrito en las patentes FR2914126 y FR2891362 anteriormente  
25 mencionadas.

Las figuras 14 y 15 son unas vistas de frente que representan ejemplos de piezas de confinamiento de campo 205 susceptibles de ser utilizadas en un captador inductivo de desplazamiento del tipo descrito anteriormente (las piezas 205' de los captadores anteriormente mencionados pueden tener unas configuraciones similares o idénticas). En el  
30 ejemplo de la figura 14, la pieza 205 es un simple disco de un material conductor (por ejemplo, de metal) de diámetro por ejemplo superior o igual al diámetro exterior del objetivo. A título de variante (no representada), el disco puede estar perforado en su centro, por ejemplo, con un agujero inferior o igual al diámetro interior de los motivos conductores del objetivo. En el ejemplo de la figura 15, la pieza 205 es un disco del mismo diámetro que representa unas estrías o  
35 hendiduras radiales coherentes con los motivos del objetivo, que permiten obtener un efecto constructivo de tipo moaré con el objetivo adecuado para amplificar la influencia de la pieza 205 sobre la distribución del campo a la altura del arrollamiento secundario del transductor. Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a estos dos ejemplos particulares.

Una segunda solución para modificar la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad, utilizable como  
40 complemento o como alternativa a la adición de una pieza conductora de confinamiento de campo, se ilustra por las figuras 16A, 16B y 17.

Las figuras 16A y 16B ilustran dos ejemplos de realización de un captador inductivo de posición angular. En las figuras 16A y 16B, solo se ha representado el objetivo del captador. La disposición del transductor, y principalmente de su  
45 arrollamiento primario y de su o sus arrollamientos secundarios, está en correspondencia con la disposición del objetivo, y puede deducirse fácilmente de la forma del objetivo con la lectura de lo que antecede. En este ejemplo, el objetivo del captador de la figura 16A es similar o idéntico al objetivo de la figura 3B. El objetivo del captador de la figura 16B comprende también N motivos conductores  $137_i$  en forma de sector de banda anular de apertura angular  $\alpha$  aproximadamente igual a un semiperiodo eléctrico (por ejemplo  $360^\circ/2N$ ), estando los N motivos  $137_i$  regularmente  
50 repartidos a lo largo de una banda anular descrita por el objetivo. El objetivo de la figura 16B difiere del objetivo de la figura 16A por el hecho de que los motivos conductores  $137_i$  tienen unas dimensiones radiales diferentes (inferiores en el ejemplo representado) de las dimensiones radiales de los motivos conductores  $117_i$  del objetivo de la figura 16A. Más particularmente, en este ejemplo, la banda anular que determina la forma de los motivos conductores  $137_i$  tiene un radio externo  $R_{\text{ext}}$  sustancialmente idéntico al de la banda anular que determina la forma de los motivos  $117_i$ , pero  
55 tiene un radio interno  $R_{\text{int}}$  inferior al de la banda anular de los motivos conductores  $117_i$ .

Los presentes inventores han constatado, como se ilustra por la figura 17, que, para un número de pares de polos dado, la distancia objetivo-transductor  $d_{\text{opt}}$  óptima en términos de linealidad de la respuesta del captador, varía en  
60 función de la relación  $R_{\text{int}}/R_{\text{ext}}$  entre el radio interno y el radio externo de la banda anular en la que se sitúan los motivos conductores del objetivo, y como consecuencia en la que se sitúan las espiras del o de los arrollamientos secundarios del captador. Se observará que la implementación de la figura 16B, que consiste en hacer evolucionar la relación  $R_{\text{int}}/R_{\text{ext}}$  modificando el radio interno  $R_{\text{int}}$  de los motivos conductores del objetivo, no es en ningún caso exclusiva de otras implementaciones que permitan hacer evolucionar la relación  $R_{\text{int}}/R_{\text{ext}}$  modificando ya sea al radio externo  $R_{\text{ext}}$ , ya sea los dos radios de manera combinada.

65 La figura 17 es un diagrama que representa la evolución, para un captador inductivo de desplazamiento angular del

tipo descrito anteriormente, de la distancia objetivo-transductor  $d_{opt}$  óptima en términos de linealidad, en función de la relación  $R_{int}/R_{ext}$ . Como se observa en la figura 17, la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad es tanto mayor cuanto mayor es la relación  $R_{int}/R_{ext}$ . De este modo, para una configuración de captador dada, la relación  $R_{int}/R_{ext}$  puede elegirse tal que la distancia  $d_{opt}$  sea compatible con las limitaciones de la aplicación, por ejemplo, sea superior o igual a 0,3 mm, por ejemplo, comprendida entre 0,3 y 10 mm, y preferentemente comprendida entre 0,5 y 1,5 mm, principalmente para un captador que incluya un número N de pares de polos grande, por ejemplo,  $N \geq 4$  y preferentemente  $N \geq 6$ .

En el plano electromagnético, se manifiesta que las modificaciones aportadas a los radios internos y/o externos del objetivo tienen como efecto modificar la relación de forma de los motivos conductores, y en particular modificar la contribución de las interrupciones radiales con relación a la contribución de las interrupciones orto-radiales, siendo esta relación de las contribuciones un factor determinante de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad  $d_{opt}$ . Cuando la relación  $R_{int}/R_{ext}$  entre el radio interno y el radio externo del objetivo aumenta, la porción de la banda anular que constituye un motivo conductor se comprime según la dirección radial, implicando una reducción de la contribución de las interrupciones radiales a la distribución de campo global medida por el secundario, traduciéndose a nivel de la señal de salida de secundario por un aumento de la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad. La solución descrita consiste por tanto en modificar la distribución espacial del campo electromagnético, y más particularmente la relación de las contribuciones radiales con relación a las contribuciones orto-radiales, con el fin de ajustar la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad  $d_{opt}$  para que sea compatible con las limitaciones de la aplicación.

En el captador de la figura 16B, cuando el radio interno  $R_{int}$  y/o el radio externo  $R_{ext}$  del objetivo de la figura 16B evolucionan, los radios interno y externo del transductor asociado evolucionan preferentemente de modo sustancial en las mismas proporciones, con el fin de maximizar el nivel de la señal recibida por el secundario. Por maximizado del nivel de señal en la salida del secundario, se entiende más precisamente el maximizado de la pendiente en el origen de la señal más que el maximizado de los valores tomados por los extremos de la señal para ciertas posiciones.

Para un juego dado de radios interno  $R_{int}$  y externo  $R_{ext}$  del objetivo, la señal recibida por el secundario del transductor asociado es máxima cuando la banda anular que delimita los motivos del objetivo y la banda anular que delimita los motivos del secundario se superponen sustancialmente o, presentado en otra forma, cuando las interrupciones orto-radiales externas y respectivamente internas del objetivo y las ramificaciones orto-radiales externas y respectivamente internas del secundario se superponen.

Se observará que para un volumen de captador dado (y principalmente para un límite alto del radio externo y un límite bajo de radio interno), aumentar la relación  $R_{int}/R_{ext}$  se convierte en disminuir la superficie de los motivos conductores del objetivo, lo que implica una disminución de la amplitud de las variaciones del nivel de las señales de salida del captador en función de la posición del objetivo con relación al transductor. De este modo, en el estado de la técnica de la medición inductiva de desplazamiento angular, el diámetro interno y el diámetro externo de la banda anular en la que se sitúan los motivos conductores del objetivo, y como consecuencia en la que se sitúan las espiras del o de los arrollamientos secundarios del captador, se dimensionan para ocupar el máximo de superficie disponible en el volumen dado, estando limitado en general el volumen por la abertura interior y el diámetro exterior del soporte y/o de la caja en la que se integra el captador, o también por el diámetro exterior del árbol alrededor del que se instala el captador y por el diámetro interior de las piezas de interfaz entre las que se aloja el captador.

Sin embargo, la solución propuesta que consiste en modificar la relación  $R_{int}/R_{ext}$  define un compromiso que puede ser razonable entre unas aplicaciones para las que la linealidad es importante.

Una tercera solución para modificar la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad, utilizable como complemento o como alternativa a la adición de una pieza suplementaria de confinamiento de campo, y/o a la modificación de la relación  $R_{int}/R_{ext}$ , se ilustra por las figuras 18A, 18B y 19.

Esta tercera solución está en la misma lógica que la solución que se acaba de describir, en el sentido de que consiste en modificar el factor de forma de los motivos conductores del objetivo y/o de las espiras del arrollamiento secundario correspondientes, y principalmente modificar la relación entre la dimensión radial y la dimensión orto-radial de los motivos del objetivo y/o de las espigas del arrollamiento secundario, con el fin de adaptar la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad a las limitaciones de la aplicación.

La figura 18A ilustra tres ejemplos de realización de un captador de posición angular del tipo descrito anteriormente. En la figura 18A, solo se ha representado un motivo conductor del objetivo, designado respectivamente por las referencias 117<sub>i</sub> para el primer ejemplo (en trazo continuo), 117<sub>i</sub>' para el segundo ejemplo (en trazo discontinuo), y 117<sub>i</sub>" para el tercer ejemplo (en trazo de puntos). En cada ejemplo, el objetivo se obtiene repitiendo regularmente el motivo conductor representado a lo largo de una banda anular circular. Los radios interno y externo de los motivos 117<sub>i</sub>, 117<sub>i</sub>' y 117<sub>i</sub>" son sustancialmente idénticos, pero los motivos 117<sub>i</sub>, 117<sub>i</sub>' y 117<sub>i</sub>" difieren entre sí por sus dimensiones angulares. Más particularmente, en este ejemplo, la apertura angular del motivo 117<sub>i</sub>' es aproximadamente igual a un semiperiodo eléctrico (por ejemplo  $360^\circ/2N$ ), como se ha descrito antes, la apertura angular del motivo 117<sub>i</sub>" es superior a un semiperiodo eléctrico en un valor  $\Delta\alpha$ , por ejemplo, comprendido entre 0 %

y 50 % de un semiperiodo eléctrico, y la apertura angular del motivo 117<sub>i</sub> es inferior a 360°/2N en un valor Δα<sub>2</sub>, por ejemplo, comprendido entre 0 % y 50 % de un semiperiodo eléctrico.

Como para la implementación de la solución de las figuras 16A, 16B y 17, la disposición del secundario del transductor está preferentemente en correspondencia con la disposición de los motivos conductores del objetivo, es decir que la apertura angular de los motivos del secundario adaptados a los motivos 117<sub>i</sub> del objetivo es sustancialmente igual a un semiperiodo eléctrico (por ejemplo 360°/2N), que la apertura angular de los motivos del secundario adaptados a los motivos 117<sub>i</sub> del objetivo es superior a 360°/2N en un valor sustancialmente igual a Δα<sub>1</sub>, y que la apertura angular de los motivos del secundario adaptados al objetivo 117<sub>i</sub> es inferior a 360°/2N en un valor sustancialmente igual a Δα<sub>2</sub>.

En la práctica, cuando la apertura angular de los motivos del secundario toma un valor superior a un semiperiodo eléctrico del captador, se puede prever con el fin de asegurar un aislamiento eléctrico entre las pistas de espiras adyacentes, la modificación de la forma de las pistas en al menos un plano de metalización, y/o aumentar el número de planos de metalización. Otra opción de realización puede consistir en limitar la apertura angular máxima de los motivos de los secundarios a sustancialmente un semiperiodo eléctrico, y en hacer evolucionar únicamente la apertura angular de los motivos del objetivo (los valores Δα<sub>1</sub> o Δα<sub>2</sub>). En este caso, la apertura angular de los motivos del arrollamiento secundario del transductor no está estrictamente en correspondencia con la apertura angular de los motivos del objetivo.

Los presentes inventores han constatado que la distancia objetivo-transductor d<sub>opt</sub> óptima en términos de linealidad de la respuesta del captador, varía en función de la separación angular Δα entre la apertura angular elegida para los motivos del objetivo y del secundario, y la apertura angular nominal α igual a un semiperiodo eléctrico del captador.

La figura 19 es un diagrama que representa la evolución, para un captador de desplazamiento angular multipolo dado del tipo descrito anteriormente e ilustrado en las figuras 18A y 18B, de la distancia objetivo-transductor d<sub>opt</sub> óptima en términos de linealidad, en función del valor Δα. Como se observa en la figura 19, la distancia objetivo-transductor óptima en términos de linealidad es tanto más reducida cuanto mayor es el valor Δα para valores negativos, e inversamente es tanto más grande cuanto mayor es el valor Δα para valores positivos. De este modo, para una configuración de captador dada, la apertura angular de los motivos conductores del objetivo puede modificarse en un valor Δα con relación al valor nominal α (igual a un semiperiodo eléctrico, por ejemplo a 360°/2N), siendo elegido el valor Δα tal que la distancia d<sub>opt</sub> sea compatible con las limitaciones de la aplicación, por ejemplo sea superior o igual a 0,3 mm, por ejemplo comprendida entre 0,3 y 10 mm, y preferentemente comprendida entre 0,5 y 1,5 mm, principalmente para un captador que incluya un número N de pares de polos grande, por ejemplo N≥4 y preferentemente N≥6.

Se han descrito unas soluciones anteriormente para disminuir el error de linealidad (o aumentar la extensión del intervalo de linealidad) de la respuesta de un captador inductivo de desplazamiento, así como para modificar, es decir aumentar o disminuir según la situación inicial, la distancia objetivo-transductor para la que un captador inductivo de desplazamiento presente, o se aproxime a, unas características óptimas en términos de linealidad.

Se observará que si el error de linealidad continúa siendo grande pese a todo (o si la extensión del intervalo de linealidad obtenido continúa siendo insuficiente), se podrá añadir uno o varios arrollamientos secundarios suplementarios, desplazados espacialmente (con un desplazamiento angular sustancialmente igual entre ellos), de manera que se reduzca la extensión de la zona de linealidad mínima necesaria para una buena reconstrucción de las informaciones de posicionamiento y/o de desplazamiento del objetivo, en combinación con la aplicación de las soluciones anteriormente descritas. A título de ejemplo ilustrativo, en el captador de la figura 5, en lugar de prever dos arrollamientos secundarios idénticos desplazados espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico, se pueden prever tres arrollamientos secundarios idénticos desplazados espacialmente en un sexto del periodo eléctrico del captador.

Además, se observará que las soluciones descritas anteriormente pueden adaptarse a unos captadores inductivos de desplazamiento lineal, por ejemplo "desenrollando" los motivos en banda circular descritos anteriormente para transformarlos en unos motivos en banda rectilínea.

Además, se observará que las soluciones descritas anteriormente pueden adaptarse a unos captadores inductivos de desplazamiento angular cuyo transductor presente una apertura angular inferior a 360°, por ejemplo, inferior a 180° con el fin de permitir un montaje "por el costado" del transductor alrededor de un arco rotativo, más que un montaje "a través". En este caso, la apertura angular del objetivo puede tener un valor de 360°, independiente de la apertura angular del transductor, o tomar un valor inferior a 360°, correspondiente por ejemplo al intervalo de desplazamiento angular de la aplicación.

#### 60 Segundo aspecto

Los presentes inventores han constatado por otro lado que, en la práctica, independientemente de la problemática de la linealidad, los captadores inductivos de desplazamiento existentes, y principalmente los captadores multipolo, son sensibles a diversas perturbaciones por efecto de acoplamiento. Dichas perturbaciones se producen por ejemplo por un lado a nivel de la zona de transducción, es decir directamente en el nivel del secundario del transductor, y por otro lado en el nivel de la zona de conexión eléctrica entre el secundario del transductor y un bloque funcional de

5 acondicionamiento de los medios electrónicos. Entre estas perturbaciones, se encuentra principalmente el acoplamiento de las perturbaciones electromagnéticas procedentes del exterior del captador (es decir no generadas por el arrollamiento primario), el acoplamiento inductivo directo del arrollamiento primario con el arrollamiento secundario (es decir la proporción de acoplamiento inductivo que continúa siendo constante cualquiera que sea la posición del objetivo), y/o el acoplamiento capacitivo entre el arrollamiento primario y el arrollamiento secundario. Estas perturbaciones pueden implicar fluctuaciones indeseables de la o las señales de salida del captador y errores de interpretación de las señales de salida del captador.

10 Sería deseable poder disponer de captadores inductivos de desplazamiento, y principalmente de captadores multipolo, menos sensibles a las perturbaciones parásitas y/o menos sujetos a los acoplamientos parásitos que los captadores existentes.

15 De este modo, según un segundo aspecto, se busca disminuir la sensibilidad para las perturbaciones y efectos de acoplamiento parásitos de los captadores inductivos de desplazamiento multipolo, y más particularmente de los captadores del tipo descrito en relación con la figura 7, es decir en los que el o los arrollamientos secundarios comprenden cada uno  $2N$  espiras de sentidos de arrollamiento alternos, siendo  $N$  el número de pares de polos del captador. Para ello, los presentes inventores proponen una disposición particular del o de los arrollamientos secundarios del captador, que se describirá a continuación.

20 Las figuras 20A y 20C ilustran de manera esquemática dos ejemplos de realización de un captador inductivo de desplazamiento angular, de apertura angular  $360^\circ$ , constituido por  $N=6$  pares de polos, y que realiza una medición espacialmente diferencial (por ejemplo, tal como se describe en relación con la figura 7). En las figuras 20A y 20C, solo se ha representado un secundario 213 de cada captador, la realización del arrollamiento primario, del objetivo, y, opcionalmente, de uno o varios arrollamientos secundarios suplementarios desplazados espacialmente con relación al arrollamiento 213, están al alcance del experto en la materia a partir de las explicaciones de la presente descripción. En este ejemplo, el secundario del captador de la figura 20A y el secundario del captador de la figura 20C son similares o idénticos al secundario de la figura 7, salvo por la diferencia de que se presentan las conexiones eléctricas entre las espiras. El secundario de la figura 20A presenta un primer modo de conexión de las espiras entre sí, según el que se recorre una primera vez la integridad de la apertura angular de la banda anular sobre la que se extiende el secundario, por ejemplo en el sentido trigonométrico en la figura, y posteriormente se recorre una segunda vez la integridad de la banda anular, esta vez en el sentido horario, con el fin de aproximar el extremo eléctrico E2 del final hacia el extremo eléctrico E1 de partida, y cerrar así el circuito de medida. El secundario de la figura 20C presenta un segundo método de conexión de las espiras entre ellas, según el que se recorre inicialmente una primera mitad de la apertura angular de la banda anular sobre la que se extiende el secundario, por ejemplo en el sentido trigonométrico en la figura, y se recorre después el camino de retorno en el sentido horario para aproximarse al extremo de entrada E1, y posteriormente se recorre la otra mitad de la apertura angular de la banda anular sobre la que se extiende el secundario conservando el sentido de rotación horario, y posteriormente se recorre el camino de retorno en el sentido trigonométrico con el fin de aproximar el extremo eléctrico E2 del final hacia el extremo eléctrico E1 de partida, y cerrar así el circuito de medida como para el secundario de la figura 20A.

40 Las figuras 20B y 20D son unas vistas de frente que representan de manera esquemática un ejemplo de realización de un transductor de un captador inductivo de desplazamiento lineal. Los captadores de las figuras 20B y 20D son unos captadores en los que un objetivo (no representado) que incluye  $N$  motivos conductores está adaptado para desplazarse en traslación según una dirección rectilínea  $x$  con relación al transductor. El captador de la figura 20B es por ejemplo del mismo tipo que el captador de la figura 20A, adaptado a una configuración lineal, lo que se convierte esencialmente en "desenrollar" las bandas anulares circulares del captador de la figura 20A y en sustituir los motivos conductores y espiras en forma de sector de banda anular, por unos motivos conductores y espiras de forma generalmente rectangular o cuadrada. El captador de la figura 20D es por ejemplo del mismo tipo que el captador de la figura 20C, adaptado a una configuración lineal. En las figuras 20B y 20D, solo se ha representado un arrollamiento secundario 213 de cada captador, la realización del objetivo, el arrollamiento primario, y, opcionalmente, de uno o varios arrollamientos secundarios suplementarios desplazados espacialmente con relación al arrollamiento 213 está al alcance del experto en la materia a partir de las explicaciones de la presente descripción. A título de ejemplo y a diferencia del arrollamiento primario de los captadores angulares de las figuras 20A y 20C, un ejemplo de arrollamiento primario obtenido cuando se "desenrolla" el juego de dos espiras concéntricas 101a y 101b descrito por ejemplo para el captador de la figura 1A, está constituido por ejemplo por una única espira para un captador lineal tal como se ha descrito en las figuras 20B y 20D, eventualmente constituida por varias vueltas. La espira del arrollamiento primario es por ejemplo de forma generalmente rectangular, de dimensión según  $y$  y próxima a la dimensión según  $x$  y de los motivos conductores del objetivo y/o de las espiras del secundario como ya se ha descrito más arriba, y de dimensión según  $x$  superior a la dimensión según  $y$  de los motivos conductores del objetivo y/o de las espiras del secundario, con el fin de que la contribución a la distribución de campo electromagnético global, creado a la altura de las ramas del primario orientadas según  $y$ , y que se sitúan en los dos extremos según  $x$  del primario, esté relativamente atenuada en la proximidad de las ramas del secundario orientadas según  $y$ , y que se sitúan en los dos extremos según  $x$  del secundario. En particular, para un transductor de un único arrollamiento secundario, la extensión según  $x$  del primario será superior a la extensión según  $x$  del secundario, y de manera preferida pero no exclusiva, superior en al menos un semiperiodo eléctrico del captador, repartido a partes iguales (al menos un cuarto de periodo eléctrico) en cada extremo del captador. De manera general, un ejemplo preferido de realización del arrollamiento primario de un

captador inductivo de desplazamiento lineal es una espira de forma general rectangular y de extensión superior a la extensión global del conjunto de los secundarios, por ejemplo, pero no exclusivamente, superior en al menos un semiperiodo eléctrico del captador, repartido a partes iguales (al menos un cuarto de periodo eléctrico) en cada extremo del captador.

5 En los ejemplos de las figuras 20B y 20D, los captadores comprenden  $N=6$  pares de polos. Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a este caso particular.

10 En el ejemplo del captador de la figura 20D, el arrollamiento secundario 213 se extiende en una zona que presenta una dimensión  $D_{tot}$  paralelamente al grado de libertad del captador, es decir paralelamente a la dirección  $x$  de desplazamiento del objetivo con relación al transductor. El arrollamiento 213 comprende  $2N$  bucles o espiras de sentido de arrollamiento alterno conectadas eléctricamente en serie entre sus extremos E1 y E2. Más particularmente, el arrollamiento 213 comprende  $N$  bucles o espiras  $213_{i+}$  que tienen un mismo primer sentido de arrollamiento, y  $N$  bucles o espiras  $213_{i-}$  que tienen un mismo segundo sentido de arrollamiento opuesto al primer sentido, teniendo cada espira  $213_{i+}$  o  $213_{i-}$  una dimensión según la dirección  $x$  aproximadamente igual a un semiperiodo eléctrico del captador (es decir por ejemplo aproximadamente igual a  $D_{tot}/2N$ ), y estando las espiras  $213_{i-}$  y  $213_{i+}$  yuxtapuestas de dos en dos de manera alterna a lo largo de la zona de dimensión  $D_{tot}$  del arrollamiento secundario.

15 Según un segundo modo de realización, el arrollamiento secundario está constituido por:

20 un primer tramo conductor 213A en serpentín que forma  $N$  semiespiras en sentidos alternos, que se extienden entre un primer extremo E1 del arrollamiento, situado aproximadamente a la altura de la mitad de la distancia  $D_{tot}$  a lo largo de la que se extiende el arrollamiento 213 paralelamente a la dirección  $x$ , y un primer punto intermedio A del arrollamiento, situado a la altura de un primer extremo de la distancia  $D_{tot}$ ;

25 un segundo tramo conductor 213B en serpentín que forma  $N$  semiespiras de sentidos alternos, complementarios de las  $N$  semiespiras del tramo 213A, que se extienden entre el punto A y un segundo punto intermedio M del arrollamiento, situado aproximadamente a la altura de la mitad de la distancia  $D_{tot}$ ;

30 un tercer tramo conductor 213C en serpentín que forma  $N$  semiespiras de sentidos alternos, que se extienden entre el punto M y un tercer punto intermedio B del arrollamiento, situado a la altura del segundo extremo de la distancia  $D_{tot}$ ; y

35 un cuarto tramo conductor 213D en serpentín que forma  $N$  semiespiras de sentidos alternos, complementarios de las  $N$  semiespiras del tramo 213C, que se extienden entre el punto B y un segundo extremo E2 del arrollamiento, situado aproximadamente a la altura de la mitad de la distancia  $D_{tot}$ , en la proximidad del primer extremo E1 del arrollamiento.

40 Más particularmente, en el ejemplo representado, en la parte izquierda del arrollamiento (en la orientación de la figura), el tramo 213A comprende  $N$  semiespiras en forma de U cuyas ramas verticales están orientadas en sentidos opuestos según una dirección y aproximadamente normal a la dirección  $x$ , y el tramo 213B comprende  $N$  semiespiras en forma de U cuyas ramas verticales están orientadas alternadamente en unos sentidos opuestos según la dirección  $y$ . Cada semiespira en U del tramo 213A tiene sus ramas verticales aproximadamente alineadas con las ramas verticales de una semiespira en U de orientación opuesta del tramo 213B. Los tramos 213C y 213D se disponen según una disposición similar en la parte derecha del arrollamiento. De este modo, en este ejemplo, las porciones del arrollamiento 213 ortogonales a la dirección de desplazamiento  $x$  son recorridas dos veces y solo dos veces por el hilo o la pista del arrollamiento (excepción hecha de las dos porciones ortogonales extremas del arrollamiento situadas en los dos extremos de la distancia  $D_{tot}$ , que, en este ejemplo, son recorridas una única vez —esta excepción no se produce por el contrario en el caso del captador angular de apertura angular de  $360^\circ$ , en el que todas las porciones radiales del arrollamiento pueden ser recorridas dos veces y solo dos veces por el hilo o la pista del arrollamiento), y las partes del arrollamiento 213 paralelas a la dirección de desplazamiento  $x$  son recorridas una vez y solo una vez por el hilo o la pista del arrollamiento.

50 En términos de camino recorrido por el circuito eléctrico constitutivo de los motivos del arrollamiento secundario, la implementación de la solución de la figura 20D está de conformidad con la implementación de una solución del tipo descrito en relación con la figura 20B, y por transposición lineal-angular está igualmente de conformidad con la implementación de las soluciones de las figuras 20A y 20C. Por el contrario, la secuencia según la que se recorre este camino difiere entre el transductor de la figura 20D (y por transposición el transductor de la figura 20C), y el transductor de la figura 20B (y por transposición el transductor de la figura 20A). En particular, la disposición descrita en relación con las figuras 20D y 20A se concibe de manera que se hace aparecer un punto de conexión intermedio M comprendido entre los extremos E1 y E2.

60 El arrollamiento 213 puede estar provisto, además de los bornes PE1 y PE2 de conexión en sus extremos E1 y E2, por un tercer borne de acceso PM conectado al punto medio M del arrollamiento.

65 En el caso de los captadores multipolo que incluyen un número  $N$  de pares de polos par, y tal como se representa en la figura 20D, el arrollamiento secundario dispone de tantas espiras  $213_{i+}$  (llamadas positivas) a derecha como espiras  $213_{i-}$  a izquierda ( $N/2$  en cada lado), y en consecuencia el arrollamiento secundario dispone de tantas espiras  $213_{i-}$  (llamadas negativas) a derecha como espiras  $213_{i+}$  a izquierda ( $N/2$  de cada lado).

Una ventaja de la disposición de arrollamiento secundario de la figura 20D cuando el número de pares de polos toma un valor par, reside en el hecho de que la inducción es sustancialmente idéntica, en cuanto a signo, cualquiera que sea la posición del objetivo con relación al transductor, en las dos porciones E1-M y E2-M de un lado y otro del punto medio, mientras se permite a las tres conexiones E1, E2 y M se hallen próximas entre sí.

Esta implementación preferida en la que el número de pares de polos toma valores pares no es en ningún caso excluyente de otros modos de realización. A título de variante, si el número N de pares de polos es elevado, la elección de un número N impar es totalmente aceptable en la medida en la que el error de simetría de la señal entre la porción E1-M y la porción E2-M evoluciona como una función inversa de N.

Los presentes inventores han constatado que cuando el captador se realiza según el segundo modo de realización, si se referencia el punto medio M del arrollamiento a un potencial eléctrico dado de los medios de medida diferencial, por ejemplo un potencial constante y centrado sobre la dinámica de medida de tensión de los medios de medida, la componente en modo común contenida en la señal eléctrica presente en los bornes del dipolo E1-E2, que no lleva información útil sobre la posición y el desplazamiento del objetivo con relación al transductor, es reducida con relación a la componente en modo diferencial contenida en la misma señal eléctrica presente en los bornes del dipolo E1-E2, siendo por el contrario la componente en modo diferencial portadora de la información útil sobre el desplazamiento del objetivo con relación al transductor. La disposición del captador de las figuras 20C y 20D que permite colocar el punto medio M en la proximidad inmediata de los extremos E1 y E2 presenta por tanto una cierta ventaja, por ejemplo con relación a la disposición del captador de la figura 20B en la que el punto medio M está alejado de los extremos E1 y E2, y más generalmente con relación a las disposiciones de los captadores de las figuras 20A y 20B en las que las tensiones E1-M y E2-M dependen de la posición del objetivo con relación al transductor, o dicho de otra manera, con relación a las disposiciones del captador en las que la relación de la componente en modo común sobre la componente en modo diferencial en los bornes de un arrollamiento secundario no es reducida y varía grandemente con la posición del objetivo con relación al transductor.

En particular, una ventaja de los captadores descritos en las figuras 20C y 20D cuando se conecta el punto medio M de manera adaptada a los medios de medida, reside en la gran inmunidad de los dos potenciales eléctricos en los extremos E1 y E2, a la componente del campo electromagnético de excitación (primario) que no varía con la posición, mientras que el único carácter espacialmente diferencial de la medida del captador de la figura 7 no garantiza una inmunidad más que sobre la diferencia de los potenciales en los extremos E1 y E2.

Adicionalmente a la inmunidad al campo "directo" emitido por el primario (fuente interna al sistema), los captadores de las figuras 20C y 20D ofrecen igualmente una inmunidad incrementada a las perturbaciones electromagnéticas y/o electrostáticas emitidas por una fuente externa en la zona de transducción y por tanto la distribución espacial es relativamente homogénea, o más generalmente una inmunidad incrementada a cualquier forma de perturbación electromagnética y/o electrostática con relación a unos captadores tales como los descritos en las figuras 20A y 20B.

Unos ejemplos de ventajas prácticas de una inmunidad incrementada a perturbaciones externas en la zona de transducción son por ejemplo la reducción de las limitaciones sobre las protecciones de los medios electrónicos de medida, tales como las protecciones contra sobretensiones y/o la relajación de las limitaciones de concepción sobre los sistemas de acondicionamiento de las señales eléctricas, tales como la tasa de rechazo en modo común de los amplificadores diferenciales.

Se observará que la adaptación de un captador inductivo para implementar un punto medio según el segundo modo de realización puede conducir a aumentar el número de interfaces del circuito de acondicionamiento (por ejemplo, el número de patillas de un circuito integrado). Se observará en particular que, según el estado de la técnica de la medida inductiva, es más conveniente minimizar el número de interfaces físicas sustituyéndolas por el tratamiento electrónico o digital. No obstante, Este segundo modo de realización permite alcanzar con una solución electrónica relativamente simple, niveles de inmunidad y de robustez de la medida mucho más elevados que con las soluciones conocidas.

La figura 20E es una representación eléctrica de "pequeñas señales" de los fenómenos de inducción útiles  $V_{M1}$  y  $V_{M2}$ , es decir de las señales portadoras de la información o de una parte de la información sobre la posición y/o el desplazamiento del objetivo con relación al transductor, y fenómenos de inducción parásitos  $V_P$ ,  $V_{P'}$ , y  $V_{P''}$  en unos hilos de conexión entre los bornes E1, E2 y M del transductor, y los bornes PE1, PE2 y PM por ejemplo unidos a la altura de unos medios eléctricos exteriores. En esta figura, y siempre que los hilos conectados desde E1, E2 y M estén cerca, las perturbaciones en modo común  $V_P$ ,  $V_{P'}$ , y  $V_{P''}$  son sustancialmente iguales y se compensan sustancialmente en las medidas  $V_{PE1}$  (realizada en los bornes del dipolo PM-PE1) y  $V_{PE2}$  (realizada en los bornes del dipolo PM-PE2) por un lado, y en la medida  $V_{PE1PE2}$  realizada en los bornes del dipolo PE1-PE2 por otro lado. Una vez fijado el potencial del borne PM a un valor conocido  $V_{REF}$ , las señales medidas en los bornes del tripolo (PE1, PE2, PM) se convierten en extremadamente inmunizadas a las perturbaciones electromagnéticas exteriores en la zona de conexión entre los bornes del transductor (E1, E2, M) y los bornes de conexión a los medios eléctricos exteriores (PE1, PE2, PM), por un lado en primer lugar limitando los riesgos de sobretensión en las entradas de los medios electrónicos (los niveles de las señales permanecen en la dinámica de los medios de acondicionamiento, y la medida es válida incondicionalmente), y por otro lado en segundo lugar relajando las exigencias sobre las tasas de rechazo en modo

común de la medida diferencial  $V_{PE1PE2}$  (el error de medida introducido por las perturbaciones es reducido). Por ejemplo, se puede aplicar al borne PM una tensión de referencia del bloque de acondicionamiento, o la mitad de la dinámica de alimentación del bloque de acondicionamiento, o también la masa electrónica, sin que estos modos de realización sean exclusivos de otros modos de realización tales como por ejemplo la conexión del borne PM o M directamente a un potencial del transductor tal como la masa.

Se obtiene así una señal representativa de la posición del objetivo con relación al transductor, particularmente robusta a las perturbaciones y/o a los efectos de acoplamiento parásitos, tanto si tienen lugar en la zona de transducción como en la zona de conexión entre el transductor y unos medios eléctricos exteriores, y tanto si son de naturaleza inductiva tal como se ha presentado en el esquema eléctrico de la figura 20E, como de naturaleza capacitiva con el entorno eléctrico del transductor y/o el arrollamiento primario y en particular las porciones próximas al punto caliente del primario (tensión elevada).

Por otra parte, en el caso de que el transductor comprenda varios arrollamientos secundarios desplazados espacialmente (por ejemplo, tal como se describe en relación con la figura 5), los diferentes arrollamientos pueden disponerse en y/o sobre diferentes capas de soporte superpuestas incluyendo cada una uno o varios niveles de metalización. Esta configuración, aunque satisfactoria para numerosas aplicaciones, puede plantear sin embargo problemas de robustez y de precisión. En efecto, da como resultado que los planos medios de los diferentes arrollamientos secundarios se sitúan a distancias ligeramente diferentes del arrollamiento primario y del objetivo. De donde resulta principalmente, en primer lugar, una diferencia de ganancia de transducción, y por tanto una diferencia de nivel de señal en la salida de los diferentes arrollamientos secundarios, y en segundo lugar unas características de linealidad diferentes entre varios arrollamientos secundarios de un mismo transductor.

Para resolver este problema, se prevé preferentemente, como se ilustra en las figuras 21A, 21B, 22A y 22B a título de ejemplo no limitativo, repartir los diferentes arrollamientos secundarios del transductor en dos niveles de metalización, por ejemplo en una misma capa de soporte a dos niveles de metalización, de tal manera que, para cada arrollamiento, la longitud de la pista o hilo del arrollamiento dispuesto en el primer nivel de metalización sea aproximadamente igual a la longitud de pista o hilo del arrollamiento dispuesto en el segundo nivel de metalización. Preferentemente, se prevé una alternancia sostenida de los cambios de plano de metalización, de tal manera que una pista de secundario no pueda recorrer sobre el mismo plano una distancia (por ejemplo, una apertura angular en el caso de un captador angular) superior a un semiperíodo eléctrico. En un modo de realización preferido, las zonas de cambio de plano de metalización se localizan de manera que exista una relación de simetría y/o de antisimetría entre la mayor parte de las porciones de las pistas dispuestas sobre el primer nivel de metalización, y la mayor parte de las porciones de pistas dispuestas sobre el segundo nivel de metalización, tal como se ha ilustrado en las figuras 21A, 21B, 22A y 22B.

De este modo, los planos medios de los diferentes arrollamientos secundarios están entremezclados y corresponden a un plano intermedio virtual situado entre el primer y segundo niveles de metalización. Lo que confiere a cada fuerza electromotriz inducida en los bornes de cada secundario, una respuesta en función de la posición del objetivo sustancialmente idéntica en términos de amplitud y de linealidad, a la de las fuerzas electromotrices inducidas en los bornes de los otros secundarios.

Se observará que los ejemplos de realización presentados en las figuras 21A, 21B, 22A y 22B corresponden a unos captadores de extensión angular  $D_{tot}=360^\circ$ , es decir cuya banda angular ocupada por cada secundario tiene una apertura angular sustancialmente igual a una vuelta completa. Estos ejemplos no son exclusivos de variantes de realización que implementarían unos captadores de apertura angular estrictamente inferior a  $360^\circ$ , por ejemplo, inferior o igual a  $180^\circ$  con el fin de permitir un montaje "por el costado" del captador alrededor de un árbol en rotación, más que un montaje "a través" del captador alrededor de dicho árbol en el caso del captador de apertura angular de  $360^\circ$  tal como se describe en las figuras 21A, 21B, 22A y 22B, por ejemplo. En estas condiciones se recordará por otro lado que la apertura angular del objetivo puede conservar alternativamente un valor de  $360^\circ$  independientemente de la apertura angular tomada por el o los secundarios del transductor, o tomar un valor inferior a  $360^\circ$  y por ejemplo adaptado al intervalo de desplazamiento angular de la aplicación.

Las figuras 21A y 21B son unas vistas de frente que representan de manera sistemática un ejemplo de realización de un transductor de dos arrollamientos secundarios 223 (en trazo hueco) y 223' (en trazo continuo) desplazados espacialmente en un cuarto de período eléctrico del captador, para un captador inductivo de desplazamiento angular. En el ejemplo representado, el número N de pares de polos del captador es igual a 6, y cada arrollamiento secundario 223, 223' comprende  $2N=12$  bucles o espiras. Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a este caso particular. En este ejemplo, los dos arrollamientos secundarios 223 y 223' están formados en y sobre un mismo soporte de dos niveles de metalización M1 y M2 unidos mediante unas vías conductoras (representadas esquemáticamente por unos redondeles). Para cada arrollamiento, la longitud de la pista formada en el nivel M1 es aproximadamente igual a la longitud de la pista formada en el nivel M2. La figura 21A es una vista de frente del nivel de metalización M1, y la figura 21B es una vista de frente del nivel de metalización M2. Se encuentran sustancialmente los motivos del nivel M1 a partir de los motivos del nivel M2 por antisimetría con relación a un plano intermedio entre los planos medios de los niveles M1 y M2.

Los arrollamientos 223 y 223' tienen cada uno, vistos desde arriba, una disposición del tipo descrito en relación con la

figura 20C (es decir una disposición del tipo descrito en relación con la figura 20D adaptada a una configuración angular, aplicándose entonces el principio de bobinado descrito en relación con la figura 20D de manera similar, no siendo ya la distancia  $D_{tot}$  una distancia lineal sino siendo más bien una distancia angular, igual a  $360^\circ$ ).

5 De este modo, el arrollamiento 223 comprende:

un primer tramo conductor 223A en serpentín curvado formando N semiespiras de sentidos alternos, extendiéndose a lo largo de una primera semi-banda anular circular (en el ejemplo representado) entre un primer extremo E1 del arrollamiento 223, situado aproximadamente a la altura de la mitad de la distancia  $D_{tot}$  (por ejemplo en la proximidad —es decir cerca de  $5^\circ$  y preferentemente cerca de  $2^\circ$ — de una posición angular a la que se asignará arbitrariamente el valor  $0^\circ$ ), y un punto intermedio A del arrollamiento, situado a la altura del primer extremo de la distancia  $D_{tot}$  (por ejemplo en la proximidad del ángulo  $180^\circ$ );  
 10 un segundo tramo conductor 223B en serpentín curvado formando N semiespiras de sentidos alternos, complementarios de las N semiespiras del tramo 223A, que se extienden a lo largo de la primera semi-banda anular entre el punto A y un segundo punto intermedio M del arrollamiento, situado aproximadamente a la altura de la mitad de la distancia  $D_{tot}$  (por ejemplo, en la proximidad del ángulo  $0^\circ$ );  
 15 un tercer tramo conductor 223C en serpentín curvado formando N semiespiras de sentidos alternos, que se extiende a lo largo de una segunda semi-banda anular complementaria de la primera semi-banda entre el punto M y un tercer punto intermedio B del arrollamiento, situado a la altura de un extremo opuesto de la distancia  $D_{tot}$  (por ejemplo, en la proximidad al ángulo  $-180^\circ$ ); y  
 20 un cuarto tramo conductor 223D en serpentín curvado formando N semiespiras de sentidos alternos, complementarios de las N semiespiras del tramo 223C, que se extienden a lo largo de la segunda semi-banda anular entre el punto B y un segundo extremo E2 del arrollamiento, situado aproximadamente a la altura de la mitad de la distancia  $D_{tot}$  (en este ejemplo en la proximidad al ángulo  $0^\circ$ ).

25 Tal como surge en las figuras 21A y 21B, en este ejemplo (no limitativo), las porciones del arrollamiento 223 ortogonales a la dirección de desplazamiento del objetivo con relación al captador, es decir las ramas radiales del arrollamiento, se recorren dos veces y solo dos veces por el hilo o la pista del arrollamiento, y las porciones del arrollamiento 223 paralelas a la dirección de desplazamiento del objetivo con relación al captador, es decir las ramas orto-radiales del arrollamiento, se recorren una vez y solo una vez por el hilo o la pista del arrollamiento.  
 30

Más particularmente, en este ejemplo: las porciones radiales posicionadas en unos ángulos desplazados en  $0^\circ$  módulo un semiperiodo eléctrico, con relación al ángulo que caracteriza el extremo E1, se recorren dos veces y solo dos veces por el hilo o la pista del arrollamiento 223; las porciones radiales posicionadas en unos ángulos desplazados en un cuarto de periodo eléctrico módulo un semiperiodo eléctrico, con relación al ángulo que caracteriza el extremo E1, son recorridas dos veces y solo dos veces por el hilo o la pista del arrollamiento 223'; y las porciones orto-radiales son recorridas una vez y solo una vez por el hilo o la pista del arrollamiento 223, y una vez y solo una vez por el hilo o la pista del arrollamiento 223'.  
 35

40 Este modo de realización permite contener en dos planos y solo dos planos de metalización, dos secundarios tales como se han descrito en las soluciones anteriores, es decir sin hacer concesión a la forma global de los motivos de cada secundario. Se observará que los modos de realización presentados en las figuras 21A, 21B, 22A y 22B implementan dos secundarios dispuestos en dos planos de metalización, pero no son en ningún caso exclusivos de otros modos de realización tal como un modo de realización que implementara por ejemplo tres secundarios dispuestos sobre tres planos de metalización.  
 45

En este ejemplo, cada una de las semiespiras en U en cada uno de los tramos 223A, 223B, 223C y 223D del arrollamiento 223 (en trazo hueco) tiene aproximadamente la mitad de su longitud en el nivel de metalización M1 y la otra mitad de su longitud en el nivel de metalización M2. Un cambio de nivel se produce cada  $L/2$  metros de pista conductora aproximadamente, en la que L designa la longitud de una espira del arrollamiento, constituida por la puesta en serie de dos semiespiras en U complementarias. En el ejemplo representado, los puntos de cambio de nivel del arrollamiento se sitúan en la parte media de las ramas orto-radiales (o ramas horizontales) de las U que forman la semiespiras. Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a este caso particular. En las figuras 21A y 21B, Los números que van de c1 a c28 designan, en el orden de recorrido entre los bornes E1 y E2, diferentes porciones del arrollamiento 223.  
 50  
 55

El arrollamiento secundario 223' (en trazo continuo) se dispone en los niveles M1 y M2 según una disposición sustancialmente idéntica a la del arrollamiento 223, pero con un desplazamiento angular de aproximadamente un cuarto de periodo eléctrico (es decir de  $15^\circ$  en este ejemplo) con relación al arrollamiento 223.  
 60

Se observará que en la estructura de las figuras 21A y 21B, las pistas de conexión en los extremos E1 y E2 del arrollamiento 223 pueden situarse por ejemplo respectivamente en los niveles de metalización M1 y M2, y están superpuestas entre sí. Esto permite minimizar la diferencia de acoplamiento parásito en cada una de estas ramas con cualquier fuente de inducción exterior (pista de conexión al primario, perturbación electromagnética exterior, etc.). Una pista de acceso al punto medio M del arrollamiento puede situarse en un tercer nivel de metalización (no representado), superpuesto a las pistas de acceso a los bornes E1 y E2 que se encuentran en los niveles de metalización M1 y/o M2,  
 65

o situarse en uno de los niveles de metalización M1 y M2, ligeramente desplazada con relación a las pistas de acceso a los bornes E1 y E2. Una disposición similar de las pistas de acceso a los bornes correspondientes E1', E2' y M' del arrollamiento puede preverse para el arrollamiento 223'. De manera más general, cualquiera que sea la disposición de las pistas de acceso, con el fin de aumentar la inmunidad a las perturbaciones electromagnéticas entre la zona de transducción (secundario) y los bornes de acceso y/o de conexión a los medios de acondicionamiento de señales, se busca preferentemente conservar los caminos desde los extremos E1 y E2 lo más próximos posibles (por ejemplo superpuestos en la tecnología PCB), y en una menor medida situar el camino desde el punto intermedio M bastante próximo a los caminos desde los extremos E1 y E2.

Se observará por otro lado que en el ejemplo de las figuras 21A y 21B, además de las vías que realizan los cambios de nivel de metalización de los arrollamientos 223 y 223', y las pistas conductoras que circulan en cada plano de metalización con unos fines de captación de campo, se han repartido regularmente unas vías o pastillas conductoras de relleno, sin función de conexión eléctrica entre unas pistas de captación de campo, a lo largo de los arrollamientos 223 y 223'. Estos motivos conductores de relleno tienen como papel simetrizar la estructura conductora del transductor, con el fin de periodificar su influencia sobre la distribución espacial del campo, y muy particularmente minimizar las singularidades de la distribución de campo que se traducirían en una evolución de la señal a la salida del secundario en función de la posición. La adición de estos motivos conductores de relleno es sin embargo facultativa. En particular, si las vías que realizan los cambios de nivel de metalización presentan dimensiones reducidas con relación al grosor de la piel, a la frecuencia de trabajo, del material que las constituye, se puede prever no añadir las pastillas conductoras y en particular no proceder a su perforación, lo que puede disminuir el coste del dispositivo.

Las figuras 22A y 22B son unas vistas de frente que representan de manera esquemática una variante de realización de un transductor del tipo descrito en relación con las figuras 21A y 21B. Esta variante de realización difiere del ejemplo de las figuras 21A y 21B debido a que, en el ejemplo de las figuras 22A y 22B, los cambios de nivel de metalización son más numerosos que en el ejemplo de las figuras 21A y 21B. De este modo, en el ejemplo de las figuras 22A y 22B, tiene lugar un cambio de nivel de metalización cada L/2 metros de pista conductora del arrollamiento secundario, en la que L es la longitud de una espira del arrollamiento, se prevén realizar k cambios de nivel de metalización cada L/2 metros de pista, siendo k entero superior o igual a 2. El número k puede elegirse teniendo en cuenta unos radios internos y externos del transductor. A título de ejemplo no limitativo, para unas dimensiones de captador dadas y cuando los cambios de nivel se efectúan únicamente en las porciones orto-radiales de las espiras, k puede elegirse tan grande como sea posible colocar de las vías adyacentes (por ejemplo, equi-repartidas) sobre las porciones orto-radiales sin que estas vías entren en cortocircuito. Por razones de simplificación, se ha representado en las figuras 22A y 22B un ejemplo de realización para un captador de N=2 pares de polos, en el que el transductor comprende 2 arrollamientos secundarios 233 (en trazo discontinuo) y 233' (en trazo continuo) desplazados angularmente en un cuarto de periodo eléctrico del captador (es decir en  $360^\circ/4N = 45^\circ$  en este ejemplo). La variante de las figuras 22A y 22B es sin embargo compatible con captadores que incluyen un número de pares de polos mayor. Como en el ejemplo de las figuras 21A y 21B, pueden preverse unos motivos conductores de relleno sin función de conexión eléctrica para simetrizar por anticipado la estructura.

### Tercer aspecto

En los ejemplos de realización de captadores multipolo descritos hasta el momento, para una dimensión  $D_{tot}$  dada de un arrollamiento secundario del transductor paralelamente al grado de libertad del objetivo con relación al captador, y para un número N de pares de polos dado, la extensión máxima del intervalo de las posiciones que pueden detectarse por el captador es de aproximadamente un semiperiodo eléctrico (por ejemplo  $D_{tot}/2N$  es decir  $360^\circ/2N$  en el caso de un captador angular) si el captador incluye un único arrollamiento secundario, y puede elevarse hasta aproximadamente un periodo eléctrico (por ejemplo  $D_{tot}/N$  es decir  $360^\circ/N$  en el caso de un captador angular) si el captador incluye más de un arrollamiento secundario, por ejemplo se incluyen dos arrollamientos secundarios idénticos desplazados espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico (por ejemplo  $D_{tot}/4N$ , es decir  $360^\circ/4N$  en el caso de un captador angular), o también se incluyen tres arrollamientos secundarios idénticos desplazados sustancialmente en un sexto de periodo eléctrico (por ejemplo  $D_{tot}/6N$ , es decir  $360^\circ/6N$  en el caso de un captador angular). En cualquier caso, los captadores de desplazamiento angular multipolo del tipo descrito anteriormente no permiten efectuar medidas de desplazamiento en toda una vuelta completa ( $360^\circ$ ) de manera absoluta, es decir sin recurrir a procedimientos de memorización del histórico de los desplazamientos, y/o de los procedimientos de referenciación de la posición en el arranque y/o en el transcurso del funcionamiento del captador. Se constata que esto es verdadero cualquiera que sea el número N de pares de polos superior o igual a 2 y puede ser incluso más problemático cuando el número N es elevado, por ejemplo,  $N \geq 4$  y preferentemente  $N \geq 6$ . Los captadores inductivos de desplazamiento lineal descritos anteriormente presentan las mismas limitaciones y no permiten efectuar una medida sobre la extensión completa de  $D_{tot}$  de manera absoluta.

Según un tercer aspecto, se busca realizar un captador inductivo de desplazamiento tal que, para un número N de pares de polos dado, para una dimensión dada  $D_{tot}$  del o de los arrollamientos secundarios del transductor paralelamente al grado de libertad del captador, el captador esté adaptado para detectar la posición del objetivo con relación al transductor sustancialmente en toda la extensión  $D_{tot}$  del transductor. En particular, en el caso de un captador de posición angular, se busca realizar un captador adaptado para detectar la posición del objetivo con relación al transductor sobre una vuelta completa, es decir sobre un intervalo angular de aproximadamente  $360^\circ$ , y esto incluso

cuando el número N de pares de polos del captador es grande, por ejemplo,  $N \geq 4$  y preferentemente  $N \geq 6$ .

La figura 23 es una vista de frente que representa de manera esquemática un ejemplo de un captador inductivo de desplazamiento angular multipolo. En la figura 23, solo se ha representado el objetivo del captador.

El objetivo del captador de la figura 23 comprende, como en el ejemplo de la figura 3B, N motivos conductores  $117_i$  ( $N=6$  en el ejemplo representado) regularmente repartidos a lo largo de los  $360^\circ$  de una primera banda anular circular 118 del objetivo. Cada motivo conductor  $117_i$  tiene la forma de una porción o de un sector de la primera banda anular 118, la apertura angular  $\alpha_N$  aproximadamente igual a  $D_{tot}/2N = 360^\circ/2N$ , estando separados dos motivos  $117_i$  consecutivos por un sector de la primera banda anular 118, sustancialmente de la misma apertura angular  $\alpha_N$ . El objetivo del captador de la figura 23 comprende además  $N+1$  motivos conductores  $119_j$ , siendo j entero que va de 1 a  $N+1$ , regularmente repartidos a lo largo de los  $360^\circ$  de una segunda banda anular circular 120 del objetivo, concéntrica con la primera banda 118 y no superpuesta a la primera banda 118. En el ejemplo representado, la segunda banda anular tiene un radio interno superior al radio externo de la primera banda anular. Cada motivo conductor  $119_j$  tiene la forma de un sector de la segunda banda anular 120, de apertura angular  $\alpha_{N+1}$  aproximadamente igual a  $D_{tot}/2(N+1) = 360^\circ/2(N+1)$ , estando separados dos motivos conductores  $119_j$  consecutivos por un sector de la segunda banda anular 120, sustancialmente del mismo ángulo  $\alpha_{N+1}$ .

El transductor (no representado por razones de simplificación) del captador de la figura 23 está en correspondencia con el objetivo representado, es decir que comprende:

uno o varios arrollamientos primarios adaptados para producir una excitación magnética en una primera y segunda bandas anulares circulares del transductor sustancialmente idénticas a la primera y segunda bandas anulares 118 y 120 del objetivo, destinados a posicionarse respectivamente frente de la primera y segunda bandas anulares 118 y 120 del objetivo;

al menos un primer y segundo arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/N$  (por ejemplo  $360^\circ/N$  en el ejemplo del captador angular), incluyendo cada uno N espiras del mismo sentido de arrollamiento, en forma de sectores de apertura angular  $\alpha_N$  de la primera banda anular del transductor, regularmente repartidos a lo largo de la primera banda anular del transductor, o, a título de variante, incluyendo 2N espiras de sentidos de arrollamiento alternos en forma de sectores de apertura angular  $\alpha_N$  de la primera banda anular del transductor, regularmente repartidos a lo largo de la primera banda anular del transductor; y

al menos un tercer y cuarto arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/(N+1)$  (por ejemplo  $360^\circ/(N+1)$ ), incluyendo cada uno  $N+1$  espiras del mismo sentido de arrollamiento en forma de sectores de apertura angular  $\alpha_{N+1}$  de la segunda banda anular del transductor, regularmente repartidos a lo largo de la segunda banda anular del transductor, o, a título de variante, incluyendo  $2(N+1)$  espiras de sentidos de arrollamiento alternos en forma de sectores de apertura angular  $\alpha_{N+1}$  de la segunda banda anular del transductor, regularmente repartidos a lo largo de la segunda banda anular del transductor.

Preferentemente, en la primera banda anular, el segundo arrollamiento secundario de periodo eléctrico  $D_{tot}/N$  es sustancialmente idéntico al primer arrollamiento y desplazado espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico ( $D_{tot}/4N$ ) con relación al primer arrollamiento, y, en la segunda banda anular, el cuarto arrollamiento secundario de periodo eléctrico  $D_{tot}/(N+1)$  es sustancialmente idéntico al tercer arrollamiento y desplazado espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico ( $D_{tot}/4(N+1)$ ) con relación al tercer arrollamiento. De manera más general, el transductor puede comprender, en la primera banda anular, una pluralidad de arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/N$ , sustancialmente idénticos al primer arrollamiento y desplazados espacialmente relativamente entre ellos en un cierto porcentaje de periodo eléctrico, y, en la segunda banda anular, una pluralidad de arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/(N+1)$ , sustancialmente idénticos al tercer arrollamiento y desplazados espacialmente relativamente entre ellos en un cierto porcentaje de periodo eléctrico.

El funcionamiento del captador de la figura 23 se describirá ahora en relación con la figura 24. Se considera el caso (no limitativo) en el que el transductor del captador comprende, en la primera banda anular del transductor, un primer par de arrollamientos secundarios idénticos de periodo eléctrico  $360^\circ/2N$ , desplazados espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico, y, en la segunda banda anular del transductor, un segundo par de arrollamientos secundarios idénticos de periodo eléctrico  $360^\circ/2(N+1)$ , desplazados espacialmente en un cuarto de periodo eléctrico. Como se ha indicado anteriormente, este captador es adecuado para suministrar dos juegos de dos fuerzas electromotrices distintas, a partir de las que se puede construir una estimación de posición respectivamente sobre un intervalo de posición igual a  $360^\circ/2N$  y sobre un intervalo de posición igual a  $360^\circ/2(N+1)$ .

La figura 24 es un diagrama que representa la evolución, en función de la posición del objetivo con relación al transductor, de la estimación  $\theta_N$  (en trazo continuo) de la posición obtenida a partir de las fuerzas electromotrices medidas en los bornes del primer par de arrollamientos secundarios, y de la estimación  $\theta_{N+1}$  (en trazo discontinuo) de la posición obtenida a partir de las fuerzas electromotrices medidas en los bornes del segundo par de arrollamientos secundarios del transductor.

Como se observa en la figura 24, cuando la posición angular  $\theta$  del objetivo con relación al transductor varía de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , la señal de estimación de posición  $\theta_N$  varía de manera periódica entre un valor base sustancialmente igual a 0 y

un valor alto sustancialmente igual a 1 (las estimaciones de posición se normalizan aquí por razones de simplificación, los modos de realización descritos no se limitan a este caso particular), con un periodo de variación igual al periodo eléctrico del primer par de arrollamientos secundarios, es decir igual a  $360^\circ/N = 60^\circ$  para  $N = 6$ . Además, la señal de estimación de posición  $\theta_{N+1}$  varía de manera periódica entre los valores bajo 0 y alto 1, con un periodo de variación igual al periodo eléctrico del segundo par de arrollamientos secundarios, es decir igual a  $360^\circ/N+1 \approx 51,4^\circ$  para  $N = 6$ .

Combinando los niveles de las señales de estimación de posición  $\theta_N$  y  $\theta_{N+1}$ , se obtienen dos escalas de medida distintas sobre una vuelta completa del captador, es decir dos distribuciones diferentes del mismo intervalo de  $360^\circ$ . El principio de un vernier aplicado a estas dos escalas de medida angular, es decir la construcción de la diferencia  $\theta_{N+1}-\theta_N$  entre las dos estimaciones de posición normalizadas  $\theta_{N+1}$  y  $\theta_N$ , permite estimar la posición y/o el desplazamiento del objetivo relativamente al transductor sobre la totalidad de la distancia  $D_{tot} = 360^\circ$  (es decir sobre una vuelta completa).

Más particularmente, una de las señales de estimación de posición, por ejemplo, la señal  $\theta_N$ , puede utilizarse para suministrar una información de desplazamiento "fina" del objetivo en  $N$  intervalos angulares de extensiones restringidas al periodo eléctrico  $360^\circ/N$ , y la diferencia  $\theta_{N+1}-\theta_N$  entre la otra señal de estimación de posición (la señal  $\theta_{N+1}$  en este ejemplo) y esta señal puede utilizarse para suministrar una información absoluta gruesa de la posición del objetivo sobre una vuelta completa. En estas condiciones, la información absoluta gruesa permite adaptar la información fina pero limitada angularmente, con el fin de realizar una estimación de desplazamiento absoluto y fino sobre  $360^\circ$ .

Una ventaja del captador de la figura 23 es que permite aprovecharse en una cierta medida de las ventajas de captadores multipolo, principalmente en términos de robustez a los errores de posicionamiento, mientras está adaptado para suministrar medidas sobre un intervalo de posición extendido con relación a los captadores multipolo del tipo descrito anteriormente.

De manera general, se observará que el modo de realización descrito anteriormente puede adaptarse a dos señales  $\theta_{N1}$  y  $\theta_{N2}$ , siendo  $N1$  y  $N2$  unos enteros diferentes que no presentan necesariamente una diferencia unitaria. En estas condiciones, un captador caracterizado por  $N1$  y  $N2 = N1+2$ , que presente una disposición similar a la disposición del captador de la figura 23, permite extender la medida absoluta sobre un intervalo  $D_{tot}/N = 180^\circ$ . De manera más general, un captador caracterizado por  $N1$  y  $N2 = N1+r$ , siendo  $r$  entero positivo estrictamente inferior a  $N1$ , permite bajo ciertas condiciones extender la medida absoluta sobre un intervalo  $D_{tot}/k = 360^\circ/r$ .

En este caso general,  $r$  es muy claramente un entero estrictamente positivo, es decir no nulo (o superior o igual a 1), de tal manera que  $N2$  es superior o igual a  $N1+1$ . Si  $r$  no fuera estrictamente positivo,  $N2$  podría ser igual a  $N1$  si  $r=0$ , y las dos señales  $\theta_{N1}$  y  $\theta_{N2}$  serían idénticas (no distintas) y no permitirían estimar la posición absoluta por la diferencia entre las dos estimaciones de posición normalizada, tal como se ha explicado anteriormente.

Además,  $r$  es un entero inferior o igual a  $N1-1$ , de tal manera que  $N2$  es inferior o igual a  $2N1-1$ . Si  $N2$  pudiera ser igual a  $2N1$ , la diferencia entre las dos estimaciones de posición normalizada, tal como se ha descrito anteriormente, suministraría una información próxima a la suministrada por el único primer juego de motivos (correspondiente a  $N1$ ) y no permitiría estimar mejor la posición absoluta por la diferencia entre las dos estimaciones de posición normalizada. De este modo, en cuanto  $r$  es inferior o igual a  $N1-1$ , son aplicables los modos de realización y ventajas de la invención.

En la práctica,  $r$  tiene un valor preferentemente reducido, por ejemplo,  $r$  es igual a 1 como se ha descrito anteriormente y se ilustra en la figura 23. Esto permite efectuar una medida absoluta sobre el intervalo más grande, de  $360^\circ$ . En ciertas aplicaciones, puede ser preferible elegir un valor de  $r$  igual a 2 (medida absoluta sobre  $180^\circ$  cuando  $D_{tot} = 360^\circ$ ), o elegir un valor de  $r$  igual a 3 (medida absoluta sobre  $120^\circ$  cuando  $D_{tot} = 360^\circ$ ), o también elegir un valor de  $r$  igual a 4 (medida absoluta sobre  $90^\circ$  cuando  $D_{tot} = 360^\circ$ ), o también elegir un valor de  $r$  igual a 5 (medida absoluta sobre  $72^\circ$  cuando  $D_{tot} = 360^\circ$ ), etc...

El captador de la figura 23 plantea sin embargo diversos problemas. En particular, el volumen del captador se incrementa con relación al captador del tipo descrito anteriormente. En efecto, en el ejemplo de la figura 23, la superficie de transductor "útil" para realizar una medida es la de una banda anular circular de anchura aproximadamente dos veces superior a la de la banda anular "útil" de un transductor del tipo descrito en relación con la figura 3A. Igualmente la superficie de objetivo "útil" para realizar una medida es la de una banda anular de anchura aproximadamente dos veces superior a la de la banda anular "útil" de un objetivo del tipo descrito en relación con la figura 3B. Además, la realización del primario es más compleja que en los modos de realización anteriores si se desea excitar de manera relativamente uniforme cada una de las bandas anulares de escala  $N$  y  $N+1$  del captador. En la práctica, puede ser necesario utilizar tres juegos de espiras distintos para realizar el arrollamiento primario de excitación.

La figura 25 es una vista de frente que representa de manera esquemática un ejemplo de un modo de realización de un captador inductivo de desplazamiento. El captador de la figura 25 es un captador multipolo de dos escalas de medida  $N$  y  $N+1$ , funcionando según el principio de un vernier tal como se ha descrito en relación con las figuras 23 y 24. En la figura 25, solo se ha representado el objetivo del captador.

El objetivo del captador de la figura 25 comprende una pluralidad de motivos conductores  $127_i$  disjuntos, repartidos a lo largo de los  $360^\circ$  de una banda anular circular 130 del objetivo. Como se observa en la figura 25, el juego de motivos formado por los motivos conductores  $127_i$  es no periódico. Los diferentes motivos conductores  $127_i$  tienen la forma de sectores angulares, de aperturas angulares diferentes, de la banda anular 130 del objetivo, y están a priori irregularmente repartidos a lo largo de la banda anular 130.

El juego de motivos formado por los motivos conductores  $127_i$  sobre la banda anular 130 del objetivo corresponde a la superposición (virtual) del primer y segundo juegos de motivos conductores periódicos de periodicidades respectivas  $360^\circ/N$  y  $360^\circ/(N+1)$ . El primer juego de motivos incluye  $N$  motivos elementales  $129_j$  (en trazos continuos) regularmente repartidos a lo largo de la banda anular 130 del objetivo, teniendo cada motivo elemental  $129_j$  la forma de un sector de la banda anular 130, de apertura angular aproximadamente igual a  $360^\circ/2N$ . El segundo juego de motivos incluye  $N+1$  motivos elementales  $131_k$  (en trazos discontinuos), regularmente repartidos a lo largo de la banda anular 130, teniendo cada motivo elemental  $131_k$  la forma de un sector de la banda anular 130, de apertura angular aproximadamente igual a  $360^\circ/2(N+1)$ . En otras palabras, las superficies de motivos conductores del objetivo de la figura 25 corresponden a la acumulación o a la unión de las superficies de los motivos conductores de un primer objetivo del tipo descrito en relación con la figura 3B, de periodo eléctrico  $360^\circ/N$ , y un segundo objetivo similar, que presenta los mismos radios internos y externos del primer objetivo, pero que tiene un periodo eléctrico  $360^\circ/(N+1)$ .

El transductor (no representado por razones de simplificación) del captador de la figura 25 está adaptado por ejemplo a los motivos conductores del objetivo de manera similar a lo que se ha descrito en relación con el ejemplo de la figura 23. En particular, comprende, por ejemplo:

- al menos un arrollamiento primario adaptado para producir una excitación magnética aproximadamente uniforme en una banda anular circular del transductor sustancialmente idéntica a la banda anular circular 130 del objetivo, destinado a posicionarse enfrente de la banda anular 130 del objetivo;
- al menos un primer y segundo arrollamientos secundarios de periodicidad  $360^\circ/N$ , desplazados espacialmente en una fracción de periodo eléctrico, extendiéndose a lo largo de la banda anular circular del transductor; y
- al menos un tercer y cuarto arrollamientos secundarios de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$ , desplazados espacialmente en una fracción de periodo eléctrico, extendiéndose a lo largo de la misma banda anular del transductor.

Los presentes inventores han constatado que, aunque los motivos conductores de periodo eléctrico  $360^\circ/N$  y  $360^\circ/(N+1)$  del objetivo se superponen y se cortocircuitan, y en consecuencia el objetivo incluye unos motivos conductores  $127_i$  irregularmente repartidos sobre una vuelta completa de  $360^\circ$ , estos motivos presentan unas aperturas angulares residuales que pueden ser diferentes de las aperturas angulares periódicas de los motivos de los juegos de arrollamientos secundarios del transductor, el captador de la figura 25 permite efectuar, con muy buenos rendimientos, unas medidas de desplazamiento sobre la totalidad de la distancia  $D_{tot}$  (es decir sobre una vuelta completa) mediante un método de lectura de tipo vernier similar o idéntico al método descrito en relación con las figuras 23 y 24.

Una ventaja del captador de la figura 25 es que, debido a la superposición de los motivos de periodos eléctricos respectivos  $360^\circ/N$  y  $360^\circ/(N+1)$ , el volumen del captador puede reducirse con relación a una configuración del tipo descrito en relación con la figura 23. Además, el único arrollamiento primario, por ejemplo, del tipo descrito en relación con la figura 3A, es suficiente para generar una excitación magnética suficientemente uniforme para un buen funcionamiento del captador.

La figura 26 es una vista de frente que representa de manera esquemática una variante de realización del captador de la figura 25. En la figura 26, solo se ha representado el objetivo del captador.

El objetivo del captador de la figura 26 comprende una pluralidad de motivos conductores  $137_i$  disjuntos, repartidos a lo largo de los  $360^\circ$  de una primera banda anular circular 138 o banda ancha del objetivo.

El juego de motivos formado por los motivos  $137_i$  sobre la banda anular 138 del objetivo corresponde a la superposición de primer y segundo juegos de motivos periódicos de periodos eléctricos respectivos  $360^\circ/N$  y  $360^\circ/(N+1)$ . El primer juego de motivos incluye  $N$  motivos conductores elementales  $139_j$  (en trazos continuos) regularmente repartidos a lo largo de la primera banda anular 138 del objetivo, teniendo cada motivo elemental  $139_j$  la forma de un sector angular de la primera banda anular 138 del objetivo, de apertura angular aproximadamente igual a un semiperiodo eléctrico  $360^\circ/2N$ . El segundo juego de motivos incluye  $N+1$  motivos elementales  $141_k$  (en trazos discontinuos), regularmente repartidos a lo largo de una segunda banda anular circular 142 o banda estrecha del objetivo, concéntrica con la banda anular 138 e incluida en la banda anular 138, es decir que presenta un radio interior superior al radio interior de la primera banda anular, y/o un radio exterior inferior al radio exterior de la banda anular 138. Cada motivo elemental  $141_k$  tiene la forma de un sector angular de la banda anular 142 del objetivo, de apertura angular aproximadamente igual a  $360^\circ/2(N+1)$ . La anchura (dimensión radial) de la segunda banda anular 142 del objetivo es preferentemente netamente inferior a la anchura (radial) de la primera banda anular 138 del objetivo, por ejemplo, dos a veinte veces más reducida que la anchura de la primera banda anular (la banda ancha).

El transductor (no representado por razones de simplificación) del captador de la figura 26 está adaptado por ejemplo a los motivos conductores del objetivo de manera similar a lo que se ha descrito en relación con los ejemplos de las figuras 23 y 25. En particular, comprende, por ejemplo:

- 5 al menos un arrollamiento primario adaptado para producir una excitación magnética aproximadamente uniforme en una primera banda anular circular del transductor (banda ancha) sustancialmente idéntica a la primera banda anular 138 del objetivo, destinado a posicionarse enfrente de la primera banda anular circular del objetivo;
- 10 al menos un primer y segundo arrollamientos secundarios de periodicidad  $360^\circ/N$ , desplazados espacialmente en una fracción de periodo eléctrico, extendiéndose a lo largo de la primera banda anular circular del transductor (la banda ancha); y
- 15 al menos un tercer y cuarto arrollamientos secundarios de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$ , desplazados espacialmente en una fracción de periodo eléctrico, dispuestos a lo largo de una segunda banda anular circular del transductor (banda estrecha), sustancialmente idéntica a la segunda banda anular 142 del objetivo y destinada a posicionarse enfrente de la banda anular 142 del objetivo.

El funcionamiento del captador de la figura 26 es similar al del captador de la figura 25. Preferentemente, en el captador de la figura 26, el o los arrollamientos secundarios que realizan la medida "fina" tal como se ha descrito anteriormente, son los arrollamientos en los que las espiras tienen la forma de sectores angulares de la banda anular más amplia del transductor (sustancialmente idéntica a la banda anular 138 del objetivo). Se entiende por la noción de medida fina, la que recibe la prioridad de los esfuerzos de diseño para asegurar el rendimiento y la robustez de la medida realizada por los secundarios de la banda ancha, eventualmente y en una cierta medida, dependiendo del rendimiento y la robustez de la medida realizada por los secundarios de la banda estrecha.

Una ventaja suplementaria del captador de la figura 26 con relación al captador de la figura 25 es que es más robusto a los errores de posicionamiento entre el objetivo y el transductor que el captador de la figura 25. En particular, la medida obtenida en los bornes de los arrollamientos secundarios de la banda ancha (asociados preferentemente a la medida fina) es más robusta a los errores de posicionamiento entre el objetivo y el transductor que en el captador de la figura 25. En efecto, en el captador de la figura 26, el hecho de reducir la superficie de una de las escalas de medida con relación a la otra permite reducir en una cierta medida, el acoplamiento creado por los motivos de la banda estrecha sobre los motivos de la banda ancha a nivel del objetivo, principalmente con relación al objetivo de la figura 25 para el que la influencia recíproca de un juego de motivos sobre el otro es sustancialmente equivalente y muy fuerte. Es posible así aumentar la robustez de uno de los juegos de secundarios a los errores de posicionamiento.

Se observará que, en el ejemplo representado, el radio medio de la segunda banda anular circular del captador (la banda estrecha) es aproximadamente igual al radio medio de la primera banda anular circular del objetivo (la banda ancha). Esta configuración es ventajosa porque permite alejar de manera sustancialmente equivalente los efectos de las porciones orto-radiales interior y exterior de los motivos conductores. Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a esta configuración particular.

Las figuras 27A a 27C son unas vistas de frente que representan de manera esquemática otra variante de realización del captador de la figura 25. Más particularmente, la figura 27A es una vista de frente del objetivo, la figura 27B es una vista de frente de una parte del transductor, y la figura 27C es una vista de frente de otra parte del transductor. En la práctica, las dos partes del transductor representadas por separado en las figuras 27B y 27C por necesidades de ilustración, se encuentran unidas y superpuestas de manera concéntrica en un único y mismo transductor, sin que la descomposición de los elementos constitutivos de dicho transductor en estas dos figuras prediga una distribución particular sobre varios niveles de metalización.

El objetivo del captador de las figuras 27A a 27C comprende una pluralidad de motivos conductores  $147_i$  disjuntos, repartidos a lo largo de los  $360^\circ$  de una primera banda anular circular 148 o banda ancha del objetivo.

El juego de motivos formado por los motivos conductores  $147_i$  sobre la primera banda anular 148 corresponde a la superposición de un primer juego de motivos periódicos de periodo eléctrico  $360^\circ/N$ , y de un segundo y tercer juegos de motivos periódicos de periodos eléctricos  $360^\circ/(N+1)$ . El primer juego de motivos incluye N motivos conductores  $149_j$  (en trazos continuos) regularmente repartidos a lo largo de la banda anular 148 del objetivo (banda ancha), teniendo cada motivo elemental  $149_j$  la forma de un sector de la banda 148, de apertura angular aproximadamente igual a  $360^\circ/2N$ . El segundo juego de motivos incluye N+1 motivos conductores elementales  $151_k$  (en trazos discontinuos), regularmente repartidos a lo largo de una segunda banda anular circular 152 del objetivo (banda estrecha), concéntrica con la primera banda anular 148 e incluida en la banda 148, es decir que presenta un radio interior superior al radio interior de la banda anular 148, y un radio exterior inferior al radio exterior de la banda anular 148. En este ejemplo, el radio interior de la banda anular 152 del objetivo es superior al radio medio de la primera banda anular 148. Este ejemplo de realización no es en ningún caso limitativo, y en particular las bandas estrechas 152 y 154 pueden disponerse de modo diferente en la banda ancha 148, sin que el radio medio de la banda ancha 148 constituya un límite infranqueable para una u otra de las bandas estrechas. Cada motivo elemental  $151_k$  tiene la forma de un sector de la segunda banda anular 152 del objetivo, de apertura angular aproximadamente igual a  $360^\circ/2(N+1)$ . La anchura (radial) de la banda anular 152 del objetivo es preferentemente reducida con relación a la anchura de la banda anular 148 del objetivo, por ejemplo, de tres a veinte veces más reducida que la anchura de la primera banda. El tercer juego

de motivos incluye  $N+1$  motivos conductores elementales  $153_k$  (en trazos discontinuos), regularmente repartidos a lo largo de una tercera banda anular circular 154 del objetivo (banda estrecha), concéntrica con la banda anular 148 e incluida en la banda anular 148. En este ejemplo, el radio exterior de la banda anular 154 del objetivo es inferior al radio medio de la banda anular 148. La diferencia entre el radio medio de la primera banda anular 148 y el radio medio de la tercera banda anular 154 es por ejemplo aproximadamente igual a la diferencia entre el radio medio de la segunda banda anular 152 y el radio medio de la primera banda anular 148. Cada motivo elemental  $153_k$  tiene la forma de un sector de la tercera banda anular 154 del objetivo, de apertura angular aproximadamente igual a  $360^\circ/2(N+1)$ . La anchura de la tercera banda anular es por ejemplo aproximadamente igual a la anchura de la segunda banda anular. A título de variante, la anchura de la tercera banda anular 154 es tal que la superficie de un motivo de la banda anular 154 sea aproximadamente igual a la superficie de un motivo de la banda anular 152. Estos dos ejemplos de realización no son en ningún caso limitativos.

Como se observa en la figura 27A, los motivos periódicos de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$  de la banda anular 154 del objetivo están desplazados espacialmente en  $360^\circ/2(N+1)$  con relación a los motivos periódicos de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$  de la banda anular 152 del objetivo. De este modo, en los intervalos angulares "vacíos" de apertura angular  $360^\circ/(N+1)$  que separa dos motivos conductores elementales  $151_k$  vecinos, se extiende aproximadamente un motivo elemental  $153_k$ , y, en los intervalos angulares "vacíos" de apertura angular  $360^\circ/(N+1)$  que separa dos motivos conductores elementales  $153_k$  vecinos, se extiende aproximadamente un motivo conductor elemental  $151_k$ . En otras palabras, sustancialmente todas las direcciones radiales del objetivo cruzan un motivo conductor elemental  $151_k$  o un motivo elemental  $153_k$ .

El transductor del captador de las figuras 27A a 27C está adaptado por ejemplo a los motivos conductores del objetivo de manera similar a lo que se ha descrito en relación con los ejemplos de las figuras 23, 25 y 26. Comprende, por ejemplo:

al menos un arrollamiento primario 211 (figura 27B) adaptado para producir una excitación magnética aproximadamente uniforme en una primera banda anular del transductor sustancialmente idéntica a la primera banda anular 148 del objetivo, destinado a posicionarse enfrente de la banda anular 148 del objetivo;

al menos un primer y segundo arrollamientos secundarios 243 (solo se ha representado un arrollamiento secundario 243 en la figura 27B) de periodo eléctrico  $360^\circ/N$ , incluyendo cada uno  $N$  espiras del mismo sentido de arrollamiento o, a título de variante,  $2N$  espiras de sentidos arrollamiento alternos, teniendo cada espira del primer y segundo arrollamientos secundarios la forma de un sector de apertura angular  $360^\circ/2N$  de la primera banda anular del transductor, y estando las  $N$  o  $2N$  espiras de cada arrollamiento regularmente repartidas a lo largo de los  $360^\circ$  de la primera banda anular del transductor;

al menos un tercer y cuarto arrollamientos secundarios 253 (solo se ha representado un arrollamiento secundario 253 en la figura 27C) de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$ , incluyendo cada uno  $N+1$  espiras del mismo sentido de arrollamiento o, preferentemente,  $2(N+1)$  espiras de sentidos de arrollamiento alternos, teniendo cada espira del tercer y cuarto arrollamientos secundarios la forma de un sector de apertura angular  $360^\circ/2(N+1)$  de una segunda banda anular del transductor, sustancialmente idéntica a la segunda banda anular 152 del objetivo y destinada a posicionarse enfrente de la banda 152 del objetivo, estando las  $N+1$  o  $2(N+1)$  espiras de cada arrollamiento regularmente repartidas a lo largo de los  $360^\circ$  de la segunda banda anular del transductor; y

al menos un quinto y sexto arrollamientos secundarios 255 (solo se ha representado un arrollamiento secundario 255 en la figura 27C) de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$ , incluyendo cada uno  $N+1$  espiras del mismo sentido de arrollamiento o, preferentemente,  $2(N+1)$  espiras de sentidos de arrollamiento alternos, teniendo cada espira del quinto y sexto arrollamientos secundarios la forma de un sector de apertura angular  $360^\circ/2(N+1)$  de una tercera banda anular del transductor, sustancialmente idéntica a la tercera banda anular 154 del objetivo y destinada a posicionarse enfrente de la banda anular 154 del objetivo, estando las  $N+1$  o  $2(N+1)$  espiras de cada arrollamiento regularmente repartidas a lo largo de los  $360^\circ$  de la segunda banda anular del transductor.

El tercer y quinto arrollamientos secundarios son de polaridades opuestas, es decir que están desplazados espacialmente en  $360^\circ/2(N+1)$  según la convención de polaridad (esquemática por un signo + o -) establecida en la figura 7 y retomada en lo que sigue de la descripción. El cuarto y sexto arrollamientos secundarios se disponen relativamente entre sí según una disposición sustancialmente idéntica a la disposición entre el tercer y quinto arrollamientos secundarios.

Preferentemente, en la primera banda anular circular, el primer y segundo arrollamientos secundarios están desplazados espacialmente en  $360^\circ/2N$  relativamente entre ellos, en la segunda banda anular circular, el tercer y cuarto arrollamientos secundarios están desplazados espacialmente en  $360^\circ/2(N+1)$  relativamente entre ellos, y, en la tercera banda anular circular, el quinto y sexto arrollamientos secundarios están desplazados en  $360^\circ/2(N+1)$  relativamente entre ellos.

De manera más general, el transductor puede comprender, en la primera banda anular, una pluralidad de arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/N$ , sustancialmente idénticos al primer arrollamiento secundario y desplazados espacialmente relativamente entre ellos en una fracción de periodo eléctrico; en la segunda banda anular, una pluralidad de arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/(N+1)$ , sustancialmente idénticos al tercer arrollamiento secundario y desplazados espacialmente relativamente entre ellos en una fracción de periodo eléctrico;

y en la tercera banda anular, una pluralidad de arrollamientos secundarios de periodo eléctrico  $D_{tot}/(N+1)$ , sustancialmente idénticos al quinto arrollamiento secundario y desplazados espacialmente relativamente entre ellos en una fracción de periodo eléctrico.

5 El funcionamiento del captador de las figuras 27A a 27C es similar al del captador de las figuras 25 y 26.

Pueden implementarse diversas configuraciones de lectura en el ejemplo de las figuras 27A a 27C. Los presentes inventores han constatado principalmente que:

- 10 la lectura del juego de motivos  $147_i$  por un arrollamiento secundario 243 genera una señal útil aprovechable, de periodo eléctrico  $360^\circ/2N$ ;  
 la lectura del juego de motivos  $147_i$  por un arrollamiento secundario 253 genera una señal útil aprovechable, de periodo eléctrico  $360^\circ/2(N+1)$ ;  
 15 la lectura del juego de motivos  $147_i$  por un arrollamiento secundario 255 genera una señal útil aprovechable, de periodo eléctrico  $360^\circ/2(N+1)$ ;  
 una combinación de las lecturas simultáneas del juego de motivos  $147_i$  por un arrollamiento secundario 253 y por un arrollamiento secundario 255, por ejemplo cuando los dos secundarios son de polaridades alternas (como se ilustra por la figura 27C) y conectados eléctricamente serie, genera una señal útil aprovechable, de periodo eléctrico  $360^\circ/2(N+1)$  y de amplitud aproximadamente igual al doble de la señal útil leída por el arrollamiento secundario 253 o de la señal útil leída por el arrollamiento secundario 255;  
 20 la lectura del juego de motivos  $147_i$  por un arrollamiento secundario 243 genera una señal parásita (principalmente de periodicidades  $360^\circ/(N+1)$  y  $360^\circ$ ) relativamente reducida con relación a la señal útil captada por este arrollamiento secundario;  
 una combinación de las lecturas simultáneas del juego de motivos  $147_i$  por un arrollamiento secundario 253 y por un arrollamiento secundario 255, por ejemplo, cuando los dos secundarios son de polaridades alternas (como se ilustra por la figura 27C) y conectados eléctricamente serie, genera una señal parásita (principalmente de periodicidades  $360^\circ/N$  y  $360^\circ$ ) relativamente reducida con relación a la señal útil captada por este arrollamiento secundario.

30 Una ventaja suplementaria del captador de las figuras 27A a 27C es que es incluso más robusto a los errores de posicionamiento entre el objetivo y el transductor que el captador de la figura 26.

En particular, la medida obtenida en los bornes de los arrollamientos secundarios 243 de la banda ancha (asociados preferentemente a la medida fina) es más robusta a los errores de posicionamiento entre el objetivo y el transductor que en el captador de la figura 26. En efecto, en el captador de las figuras 27A a 27C, sustancialmente todas direcciones radiales del objetivo incrementan uno y solo un motivo conductor elemental de una banda estrecha, dispuesto sobre una u otra de las dos bandas estrechas del objetivo. Además, las dos bandas estrechas del objetivo se disponen preferentemente suficientemente alejadas de las dos ramas orto-radiales interior y exterior de los secundarios 243 de la banda ancha del transductor. En estas condiciones, el acoplamiento de los motivos conductores de las dos bandas estrechas del objetivo sobre la medida en los bornes de los secundarios 243 de la banda ancha, es el resultado de la combinación de la inducción de los motivos conductores de una banda estrecha del objetivo y de la inducción de los motivos conductores de la otra banda estrecha del objetivo, compensándose sustancialmente estas dos contribuciones cualquiera que sea la posición del objetivo con relación al transductor. El acoplamiento parásito toma entonces un valor relativamente estable cuando evoluciona la posición del objetivo con relación al transductor.  
 45 Además, el acoplamiento toma un valor sustancialmente nulo cuando los secundarios de la banda ancha incluyen  $2N$  espiras de sentidos de arrollamiento alternos, tal como se ha descrito para el captador de la figura 3 por ejemplo, con el fin de realizar una medida espacialmente diferente. Otra formulación consiste en considerar que los secundarios de la banda ancha del transductor "ven" aproximadamente las dos bandas estrechas desplazadas como una única banda conductora media estrecha y sustancialmente lisa o continua sobre  $D_{tot}$  desde el punto de vista electromagnético (y no en el sentido eléctrico), y que esta banda virtual induce de hecho en los bornes de dichos secundarios una señal sustancialmente independiente de la posición.

Por otra parte, los presentes inventores han constatado que la medida obtenida en los bornes del arrollamiento secundario 253 (de una banda estrecha) presenta un comportamiento en función de la posición del objetivo con relación al transductor que es similar al comportamiento en función de la posición de medida obtenida en los bornes del arrollamiento secundario 255 (de la otra banda estrecha). Los presentes inventores han constatado igualmente, que, en caso de fallo de posicionamiento del objetivo con relación al transductor, el comportamiento en función de la posición de la medida en los bornes de uno de los dos arrollamientos 253 o 255 de una de las dos bandas estrechas, presenta unas deformaciones relativamente complementarias de las deformaciones obtenidas sobre la medida en los bornes del otro arrollamiento. De este modo, combinando las medidas de los dos secundarios de las dos bandas estrechas, y de manera preferente uniendo en serie los dos arrollamientos que se conciben de manera que presentan un comportamiento en posición relativamente similar en términos de amplitud y linealidad principalmente, es posible obtener una medida en los bornes del nuevo arrollamiento compuesto que es relativamente robusta a los defectos de posicionamiento. En efecto, en el captador de las figuras 27A a 27C, sustancialmente todas las direcciones radiales del transductor se incrementan exactamente en dos espiras elementales del arrollamiento compuesto, de polaridad opuesta y alternadamente dispuesta sobre cada una de las dos bandas estrechas del transductor. Además, las dos

bandas estrechas del transductor se disponen suficientemente alejadas de las dos ramas orto-radiales interior y exterior de los motivos conductores de la banda ancha del objetivo. En estas condiciones, el acoplamiento de los motivos conductores 149j de la banda ancha del objetivo sobre la medida en los bornes del arrollamiento compuesto es el resultado de la combinación de la inducción de los motivos conductores 149j sobre el secundario 253 (una banda estrecha) y de la inducción de los motivos conductores 149j sobre el secundario 255 (la otra banda estrecha), compensándose sustancialmente estas dos contribuciones cualquiera que sea la posición del objetivo con relación al transductor. El acoplamiento parásito toma entonces un valor relativamente estable cuando evoluciona la posición del objetivo con relación al transductor. Además, el acoplamiento toma un valor sustancialmente nulo cuando los secundarios 253 y 255 (bandas estrechas) incluyen  $2(N+1)$  espiras de sentidos de arrollamiento alternos, tal como se ha descrito para el captador de la figura 3 por ejemplo, con el fin de realizar una medida espacialmente diferente. Otra formulación consiste en considerar que, cuando la posición del objetivo con relación al transductor evoluciona, la lectura realizada por un secundario de la banda estrecha del transductor del juego de motivos conductores que se le asocia sobre el objetivo está sustancialmente "en fase" con la lectura realizada por el secundario de la otra banda estrecha del transductor del juego de motivos conductores que se le asocia sobre el objetivo. Por otro lado, y cuando la posición del objetivo con relación al transductor evoluciona, la lectura realizada por un secundario de la banda estrecha del transductor del juego de motivos conductores 149j de la banda ancha del objetivo está sustancialmente "en oposición de fase" con la lectura realizada por el secundario de la otra banda estrecha del transductor del mismo juego de motivos conductores de la banda ancha del objetivo. De este modo, cuando se suman las dos medidas por medios matemáticos o eléctricos (por ejemplo, mediante una conexión eléctrica en serie), el acoplamiento parásito toma un valor sustancialmente nulo cuando los secundarios de cada banda estrecha se diseñan con este fin, mientras que la señal útil se conserva y/o amplifica.

Se observará que, en el caso de la conexión eléctrica en serie del arrollamiento secundario de una banda estrecha con el arrollamiento secundario de la otra banda estrecha, y con el fin de recuperar las características de los captadores descritas en relación con la figura 2E, es posible por ejemplo elegir para punto medio del bobinado compuesto el punto de conexión en serie de los dos arrollamientos elementales.

Se observará que se pueden prever otros métodos de combinación de las medidas de los dos secundarios de la banda estrecha, tales como combinaciones lineales de las señales acondicionadas por separado, u otros métodos de conexión eléctrica de los secundarios entre sí, con por ejemplo para incluso la finalidad de aumentar la robustez de las medidas a nivel de la banda ancha y/o de las bandas estrechas del transductor, a los defectos de posicionamiento del objetivo con relación al transductor.

Se observará que en los ejemplos representados en las figuras 23, 25, 26 y 27A, uno de los motivos elementales de periodo eléctrico  $360^\circ/(N+1)$  está aproximadamente centrado sobre la misma posición angular que uno de los motivos elementales de periodo eléctrico  $360^\circ/N$ . Por ejemplo, en la figura 25, el motivo  $131_1$  está centrado sobre la misma posición angular que el motivo  $129_1$ , y en la figura 27A, el motivo  $151_1$  está centrado sobre la misma posición angular que el motivo  $149_1$ . Esta configuración es preferente porque contribuye a aumentar el nivel de simetría global del captador, lo que permite principalmente facilitar la fabricación y el control visual del objetivo, o incluso facilitar el diseño y la fabricación de los juegos de arrollamientos secundarios. Los modos de realización descritos no se limitan sin embargo a este caso particular.

De manera general, se recordará que los medios de realización descritos anteriormente pueden adaptarse a dos señales  $\theta_{N1}$  y  $\theta_{N2}$ , siendo  $N1$  y  $N2$  unos enteros diferentes, pero no siendo su diferencia necesariamente unitaria. En estas condiciones, un captador caracterizado por  $N1$  y  $N2 = N1+2$  y de disposición similar a la disposición de los captadores de las figuras 23, 25, 26 y 27A a 27C, permite extender la medida absoluta sobre un intervalo  $D_{tot}/N = 180^\circ$ . De manera más general, un captador caracterizado por  $N1$  y  $N2 = N1+r$ , siendo  $r$  un entero positivo, no nulo y estrictamente inferior a  $N1$  (dicho de otra manera, inferior o igual a  $N1-1$ ), permite bajo ciertas condiciones extender la medida absoluta sobre un intervalo  $D_{tot}/r = 360^\circ/r$ .

Además, a título de variante, en los ejemplos de las figuras 26 y 27A a 27C, en lugar de reducir la anchura de los motivos de periodicidad  $360^\circ/(N+1)$  con relación a la anchura de los motivos de periodicidad  $360^\circ/N$ , se podrá prever reducir la anchura de los motivos de periodicidad  $360^\circ/N$  con relación a la anchura de los motivos de periodicidad  $360^\circ/2(N+1)$ .

Además, se observará que el número de pares de polos es preferentemente par para los motivos de la banda ancha, con el fin de aprovecharse de una simetría incrementada del transductor de un lado y otro del punto medio (principalmente cuando el transductor se realiza según el segundo aspecto).

Por otra parte, se observará que los modos de realización descritos en relación con las figuras 23 a 27C no se aplican solamente a unos captadores de desplazamiento angular planos, sino que pueden aplicarse a otros tipos de captadores inductivos de desplazamiento, y principalmente captadores de desplazamiento lineal planos, o captadores de desplazamiento angular no planos, por ejemplo unos captadores de desplazamiento lineal "enrollados" (por ejemplo conformados según un cilindro) alrededor y enfrente de una pieza en rotación sobre la que se fija un objetivo igualmente de tipo lineal y "enrollado" (por ejemplo conformado según un cilindro). Estos dos ejemplos de realización no son en ningún caso limitativos.

Cuarto aspecto

5 Generalmente, el objetivo de un captador inductivo de desplazamiento está constituido por una placa metálica cortada en todo su grosor para no conservar, enfrente de los arrollamientos del transductor, más que porciones de la placa que corresponden a los motivos conductores del objetivo, tal como se representa por ejemplo en la figura 50 de la patente EP0182085 anteriormente mencionada. A título de variante, el objetivo puede estar constituido por un soporte dieléctrico, por ejemplo, una placa de plástico, cuya cara vuelta hacia el transductor está parcialmente revestida por una capa metálica que forma el o los motivos conductores del objetivo.

10 Los objetivos del tipo anteriormente mencionado presentan sin embargo puntos de fragilidad, lo que puede plantear problemas en ciertas aplicaciones, principalmente aplicaciones en las que las piezas móviles de las que se desea poder detectar el desplazamiento son susceptibles de sufrir grandes choques o vibraciones. Entre estos puntos de fragilidad, los presentes inventores han identificado principalmente los motivos conductores cuando son relativamente finos y/o angulosos, y el soporte dieléctrico que es generalmente suave (epoxi de PCB, plástico...). Además, la realización de una fijación robusta entre el objetivo y una pieza móvil de la que se desea poder detectar el desplazamiento puede plantear dificultades. Esta fijación (por ejemplo, por encolado, atornillado, clavado, etc.) puede constituir principalmente un punto de fragilidad mecánica. Dichos puntos de fragilidad limitan las aplicaciones industriales de los captadores equipados con dichos objetivos, y en particular obligan o bien a instrumentar la pieza mecánica giratoria posteriormente a las operaciones de montaje de dicha pieza principalmente cuando las operaciones de montaje se efectúan por medio de herramientas de fuerza tales como martillos y prensas, o bien a proteger el objetivo y/o el transductor en una caja mecánica sólida. Este es por ejemplo el caso de los rodamientos instrumentados que están encastrados en los medios de prensa de gran tonelaje.

25 Según un cuarto aspecto, sería deseable poder disponer de un objetivo para captador inductivo de desplazamiento que pallee en todo o en parte los inconvenientes de los objetivos existentes, principalmente en términos de solidez.

30 Para ello, según un cuarto modo de realización, se prevé realizar un objetivo para captador inductivo de desplazamiento, formado por una única pieza metálica conductora (por ejemplo, una pieza de acero), u objetivo monobloque, mecanizado de manera que la cara del objetivo destinada a estar vuelta hacia el transductor incluye una o varias plataformas mecánicas salientes de una pared metálica de fondo. La o las plataformas del objetivo corresponden al motivo conductor o los motivos conductores del objetivo, y las porciones de la pared del fondo están superpuestas por una plataforma correspondiente a unas zonas sin motivo conductor del objetivo, es decir unas zonas habitualmente no conductoras en los objetivos tradicionales para captador inductivo de desplazamiento.

35 La figura 28 es una vista en perspectiva que representa un ejemplo de realización de un objetivo monobloque 301 de ese tipo, para un captador inductivo de desplazamiento. El objetivo 301 tiene la forma general de un disco metálico, mecanizado de manera que una cara del disco destinada a estar vuelta hacia el transductor incluye N plataformas conductoras  $307_i$  ( $N=6$  en el ejemplo representada) sustancialmente de la misma altura, salientes de una pared de fondo 309 aproximadamente plana. Cada plataforma  $307_i$  tiene una cima o una cara superior aproximadamente plana y paralela a la pared 309. Además, en este ejemplo, las paredes laterales de las plataformas son aproximadamente ortogonales a la pared 309. Las caras superiores de las plataformas  $307_i$  del objetivo 301 definen los motivos conductores del objetivo. En este ejemplo, el objetivo 301 tiene un motivo conductor sustancialmente idéntico al del objetivo de la figura 3B, es decir que, en proyección según una dirección ortogonal al plano medio del disco, las plataformas  $307_i$  tienen sustancialmente la misma forma y se disponen sustancialmente de la misma manera que los motivos conductores  $117_i$  del objetivo de la figura 3B.

50 El principio de funcionamiento del objetivo 301 es similar al que se ha descrito anteriormente, es decir que cuando el objetivo se coloca delante de un transductor que emite una excitación magnética, se producen unos fenómenos de inducción, por ejemplo unas corrientes de Foucault, en las plataformas  $307_i$ , principalmente a la altura de la cara superior de las plataformas, implicando una variación de un nivel de señal de salida del transductor en función de la posición de las plataformas  $307_i$  con relación al transductor.

55 Se observará que en el objetivo 301, las porciones de la superficie del objetivo enfrente del transductor situadas entre las plataformas  $307_i$  son conductoras. Por consiguiente, bajo el efecto de la excitación magnética generada por el arrollamiento primario, pueden producirse también unos fenómenos de inducción, por ejemplo, unas corrientes de Foucault, en estas porciones del objetivo, a la altura de la pared de fondo 309. De manera más general, y por ejemplo en el caso del captador de la figura 28 en el que las plataformas están en contacto eléctrico uniforme con el soporte del objetivo caracterizado por la pared 309, la distribución del campo electromagnético es el resultado de la interacción global de la estructura conductora del objetivo con la excitación magnética generada por el primario. En particular, existen fenómenos electromagnéticos asociados a la estructura conductora global del objetivo más que a la de cada plataforma conductora, por ejemplo, la circulación de una corriente inducida sustancialmente según un bucle concéntrico al eje de rotación del objetivo, más que según unos bucles locales sustancialmente delimitados por las superficies de las plataformas  $307_i$  o por las porciones de superficie de la pared 309 que están comprendidas entre las plataformas. Se observará en particular que, según el estado de la técnica, es conveniente alejar al máximo la pared del fondo 309 y aislar eléctricamente las plataformas  $307_i$  con el fin de evitar estos fenómenos de inducción

parásitos.

No obstante, al ser la distancia entre el transductor y la pared 309 superior a la distancia entre el transductor y las plataformas 307<sub>i</sub>, los fenómenos de inducción que se producen en la pared 309 son más reducidos que los fenómenos de inducción que se producen en la superficie de las plataformas 307<sub>i</sub>. Los ensayos realizados por los presentes inventores han demostrado que la contribución inductiva de la pared 309 puede implicar eventualmente una modificación tal como una atenuación o una modificación de las características de linealidad de la señal útil de salida del transductor cuando la altura de las plataformas 307<sub>i</sub> es reducida, pero que no degrada por el contrario la precisión de las medidas de posición que pueden efectuarse por el captador.

Se recordará que, según el primer aspecto, descrito principalmente en relación con las figuras 12A a 12D, se puede prever, mediante ajustes geométricos del objetivo y en particular mediante el ajuste de la altura de las plataformas 307<sub>i</sub> en el captador de la figura 28, ajustar la distancia objetivo-transductor  $d_{opt}$  óptima en términos de linealidad. De este modo, la altura de las plataformas puede elegirse de manera que la distancia  $d_{opt}$  sea compatible con la aplicación perseguida, por ejemplo, comprendida entre 0,5 y 1,5 mm, que es un intervalo de valores compatibles con diversas aplicaciones industriales.

A título de ejemplo no limitativo, la altura de las plataformas 307<sub>i</sub> está comprendida entre 0,1 y 30 mm y preferentemente entre 1 y 10 mm.

De manera más general, cualquier tipo de objetivo para captador inductivo de desplazamiento de uno o varios motivos conductores puede realizarse bajo forma monobloque, tal como se describe en relación con la figura 28, por ejemplo unos objetivos para captador inductivo de desplazamiento lineal, o también unos objetivos para captador inductivo de desplazamiento angular planos que presentan motivos conductores diferentes del de la figura 28, es decir por ejemplo diferentes en sectores angulares o en rectángulos, y por ejemplo caracterizados por que al menos uno de sus contornos (por ejemplo el contorno exterior) evoluciona sustancialmente como una espiral en función del ángulo sobre el objetivo, o también porque al menos uno de sus contornos evoluciona sustancialmente sinusoidalmente en función del ángulo sobre objetivo.

A título de ilustración, otro ejemplo no limitativo de objetivo monobloque 401 para captador inductivo de desplazamiento angular plano se representa en la figura 29.

Como en el ejemplo de la figura 28, el objetivo 401 tiene la forma general de un disco metálico, mecanizado de manera que la cara del disco destinada a estar vuelta hacia el transductor incluye unas plataformas conductoras 407 sustancialmente de la misma altura, salientes de una pared de fondo 309 aproximadamente plana. Como anteriormente, cada plataforma 407 tiene una cima o una cara superior aproximadamente plana y paralela a la pared 309, y las paredes laterales de las plataformas son aproximadamente ortogonales a la pared 309. Las caras superiores de las plataformas 407 del objetivo 401 definen los motivos conductores del objetivo. En este ejemplo, el objetivo 401 presenta unos motivos conductores sustancialmente idénticos a los del objetivo de la figura 27A, es decir que, visto desde arriba, las plataformas 407 tienen sustancialmente la misma forma y se disponen sustancialmente de la misma manera que los motivos conductores 147<sub>i</sub> del objetivo de la figura 27A.

La realización de objetivos monobloque del tipo anteriormente mencionado puede efectuarse por cualquier medio conocido de fabricación de una pieza metálica maciza, por ejemplo, por grabación, por sinterizado, por moldeo, por embutición, etc.

Una ventaja de los objetivos monobloque del tipo anteriormente mencionado es que son particularmente robustos con relación a los objetivos existentes, y pueden así manipularse sin precauciones particulares. Esta robustez es el resultado en particular del hecho de que dichos objetivos son macizos y no presentan puntos de fragilidad aparentes. Además, estos objetivos son más fáciles de fijar de manera robusta sobre piezas móviles que los objetivos existentes. En particular, pueden utilizarse todas las técnicas de montaje firme metal sobre metal y/o de soldadura metal-metal. Estas dos características permiten pre-instrumentar una gran mayoría de las piezas metálicas giratorias antes incluso de su montaje o utilización en el sistema huésped. Para finalizar la instrumentación del sistema, es suficiente entonces relacionar el transductor enfrente del objetivo montado, ya sea al final del montaje o ya sea en cualquier momento del ciclo de vida del sistema huésped.

Según un modo de realización particularmente ventajoso, un objetivo monobloque para captador inductivo de desplazamiento del tipo anteriormente descrito puede fabricarse directamente en una pieza metálica de la que se desea poder detectar la posición (y/o el desplazamiento), por ejemplo:

para una medida angular, una columna de dirección de vehículo automóvil, un árbol de un motor o de una caja de reducción de velocidad (por ejemplo, a la altura de una cara en la forma de disco de la sección extrema del árbol), un casquillo giratorio (interior o exterior) de un rodamiento de bolas, un engranaje, etc.; o para una medida lineal, la varilla de un pistón, el cuerpo de un amortiguador, etc.

Se han descrito anteriormente diversos ejemplos y modos de realización con diversas variantes. Se observará que el

experto en la materia podrá combinar diversos elementos de estos diversos ejemplos, modos de realización y variantes sin demostrar actividad inventiva. Se observará en particular que el primer, segundo, tercer y cuarto modos de realización anteriormente descritos pueden implementarse independientemente entre sí o combinarse en todo o en parte según las necesidades de la aplicación.

5 De esta manera, un modo de realización prevé un objetivo para captador inductivo de desplazamiento, estando este objetivo formado por una sola pieza metálica conductora mecanizada de manera que una cara del objetivo destinada a estar girada hacia un transductor de un captador inductivo de desplazamiento incluye uno o varios terminales metálicos que sobresalen de una pared de dicha pieza.

10 Según un modo de realización, toda la superficie del objetivo destinada a estar girada hacia el transductor es metálica.

Según un modo de realización, el objetivo incluye varios terminales sustancialmente de misma altura.

15 Según un modo de realización, la altura del o de los terminales está comprendida entre 0,1 y 30 mm.

Según un modo de realización, cada terminal tiene una cara superior paralela a la pared.

20 Según un modo de realización, la pared es aproximadamente plana.

Según un modo de realización, la pieza tiene la forma general de un disco e incluye varios terminales repartidos a lo largo de una banda anular circular del lado de una cara del disco.

25 Según un modo de realización, la pieza tiene la forma general de una placa rectangular e incluye varios terminales repartidos a lo largo de una banda rectangular del lado de una cara de la placa.

Según un modo de realización, la pieza metálica es una parte de un árbol motor o de un árbol de transmisión de una caja de reducción de velocidad.

30 Según un modo de realización, la pieza metálica es una parte de una columna de dirección de vehículo automóvil.

Según un modo de realización, la pieza metálica es una parte de una varilla de un pistón.

35 Según un modo de realización, la pieza metálica es solidaria con un casquillo de un rodamiento de bolas.

La figura 30 muestra más precisamente un modo de realización de un objetivo monobloque para medida de desplazamiento angular de un casquillo de un cojinete de rodamiento, tal como un rodamiento de bola 500.

El cojinete de rodamiento 500 comprende:

- 40
- un órgano exterior 501 (por ejemplo, casquillo exterior de rodamiento);
  - un órgano interior 502 (por ejemplo, casquillo interior de rodamiento); y
  - unos cuerpos rodantes 503 (por ejemplo, unas bolas o unos rodillos) dispuestos en un espacio de rodamiento formado entre dichos órganos exterior e interior para permitir su rotación relativa alrededor de un eje de rotación común AX.
- 45

Unos de los órganos 501, 502 comprende unos medios de fijación a una estructura denominada fija. Por ejemplo, el órgano exterior 501 es fijo y el órgano interior 502 es giratorio, como en el caso de aplicación de una rueda de vehículo automóvil, en el que la estructura fija es un elemento de suspensión del vehículo y la estructura móvil es la rueda.

50 Para permitir la rotación, cada órgano 501, 502 puede presentar un camino de rodamiento 501c, 502c respectivamente, entre dichos dos caminos de rodamiento están dispuestos una fila de cuerpos rodantes, pudiendo dichos cuerpos rodantes presentarse en forma de bolas, manteniéndose dichas bolas en una fila por medio de una jaula de retención 504. No obstante, la invención no se limita a un modo de realización del cojinete, en particular, en relación con las geometrías de los cuerpos rodantes y/o con las de los órganos interior 502 y exterior 501.

55 El cojinete de rodamiento 500 comprende, además, un objetivo 511 de captador inductivo del tipo del objetivo 301 de la figura 28 o preferentemente del tipo del objetivo 401 de la figura 29 (como se representa en la figura 30).

60 El objetivo 511 está:

- ya sea fijado de manera robusta a un casquillo de rodamiento (el órgano exterior o interior) cuyo desplazamiento angular en rotación se mide por un transductor; en concreto, puede estar fijado por montaje con fuerza y/o soldadura, como ya se ha explicado;
  - ya sea directamente formado o mecanizado en el casquillo de rodamiento cuyo desplazamiento angular en rotación se mide por un transductor; en concreto, puede estar formado o mecanizado por un procedimiento de grabado, de
- 65

sinterizado, de moldeo o de embutición.

El casquillo de rodamiento comprende, de este modo:

- 5
- un órgano exterior 501 o interior 502, por ejemplo, de forma cilíndrica, que comprende un camino de rodamiento 501c, 502c y que se extiende en la dirección del eje de rotación AX; y
  - un objetivo 511 que tiene la forma de un plato lateral que se extiende desde un extremo de dicho órgano en una dirección radial, para presentar al menos una cara 505 en el lado opuesto de dicho extremo y del camino de rodamiento.

10

Como variante, el objetivo 511 tiene la forma de un disco anular. Eventualmente, este objetivo tiene un diámetro exterior o inferior diferente al diámetro en que se sitúa el camino de rodamiento del órgano (por ejemplo, diámetro exterior superior en el caso de un órgano interior, como se representa en la figura 30 o, recíprocamente, diámetro interior inferior en el caso de un órgano exterior). Eventualmente, este diámetro es igual al diámetro en que se sitúa el camino de rodamiento del órgano.

15

El objetivo está formado, por lo tanto, ya sea sobre el órgano interior (casquillo interior del rodamiento), ya sea sobre el órgano exterior (casquillo exterior del rodamiento). De esta manera, los modos de realización del rodamiento de la invención se aplican de manera indiferente a un casquillo interior o a un casquillo exterior, incluso si la figura 30 representa únicamente un objetivo sobre un casquillo interior.

20

Ventajosamente, el objetivo 511 está formado directamente y es integrante de una cara lateral del órgano (el casquillo de rodamiento), de modo que no toma un espacio necesario suplementario y no añade un sobrecoste a dicho casquillo de rodamiento.

25

La cara 505 presenta una pared de fondo 509 y uno o varios terminales (507<sub>i</sub>) metálicos que sobresalen desde esta pared de fondo y que se elevan en dirección de un transductor del captador inductivo, formando, de este modo, el o dichos terminales unos motivos conductores tales como se han descrito en los diversos ejemplos anteriores.

30

El objetivo 511 está fijado de manera robusta sobre o forma parte integrante de un casquillo de rodamiento, lo que permite, de este modo, formar un producto preinstrumentado robusto, sin punto de fragilidad. Además, este objetivo 511 es independiente de la estanqueidad de rodamiento tal como se realiza habitualmente en la técnica anterior de los rodamientos instrumentados de junta codificadora.

35

Este producto no es mucho más costoso o no más costoso que un producto sin objetivo. De este modo, el conjunto de los cojinetes de rodamiento puede comprender un objetivo de este tipo y estar equipados o no equipados con un transductor. El producto es, de este modo, más universal y más modular.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Rodamiento (500) que comprende un casquillo de rodamiento y un captador inductivo de desplazamiento angular de dicho casquillo de rodamiento, comprendiendo dicho captador inductivo:
- un transductor que incluye al menos un arrollamiento primario adaptado para producir una excitación magnética, y al menos un arrollamiento secundario que incluye al menos una espira, adaptado para suministrar una fuerza electromotriz en sus bornes en presencia de dicha excitación;
  - un objetivo (301; 401; 511) adaptado para desplazarse paralelamente al transductor; y
- 10 estando dicho objetivo formado por una sola pieza metálica conductora y que comprende una cara con una pared de fondo (309; 509) y uno o varios terminales metálicos (307<sub>i</sub>; 407<sub>i</sub>; 507<sub>i</sub>) que sobresalen desde esta pared de fondo, estando dicho objetivo girado en dirección del transductor del captador inductivo, formando, de este modo, el o dichos terminales unos motivos conductores;
- 15 **caracterizado por que** dicho objetivo (301; 401; 511) está fijado de manera robusta al casquillo de rodamiento cuyo desplazamiento angular se mide por el transductor o el objetivo (301; 401; 511) está directamente mecanizado en el casquillo de rodamiento cuyo desplazamiento angular se mide por el transductor; y en el que los motivos conductores están repartidos a lo largo de una zona de dimensión  $D_{tot}$  en una dirección circular, estando dichos motivos (127<sub>i</sub>; 137<sub>i</sub>; 147<sub>i</sub>) definidos por la superposición de al menos un primer juego de motivos
- 20 elementales periódicos de periodo aproximadamente igual a  $D_{tot}/N$ , que incluye N primeros motivos conductores elementales (129<sub>j</sub>; 139<sub>j</sub>; 149<sub>j</sub>) de dimensión aproximadamente igual a  $D_{tot}/2N$  en dicha dirección, regularmente repartidos a lo largo de dicha zona y de un segundo juego de motivos periódicos elementales de periodo aproximadamente igual a  $D_{tot}/(N+r)$ , que incluye N+r segundos motivos elementales (131<sub>k</sub>; 141<sub>k</sub>; 151<sub>k</sub>) de dimensión aproximadamente igual a  $D_{tot}/2(N+r)$  en dicha dirección, regularmente repartidos a lo largo de dicha zona, donde N
- 25 es un entero superior o igual a 2 y r es un entero positivo, no nulo e inferior o igual a N-1, en la que unos primeros y segundos motivos conductores elementales se solapan al menos parcialmente.
2. Rodamiento según la reivindicación 1, en el que el objetivo (301; 401; 511) está fijado de manera robusta al casquillo de rodamiento por una técnica de montaje con fuerza metal sobre metal y/o de soldadura metal-metal.
- 30 3. Rodamiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el objetivo (301; 401; 511) está mecanizado por un procedimiento elegido en una lista que comprende el grabado, el sinterizado, el moldeo y la embutición.
- 35 4. Rodamiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el o los terminales (307<sub>i</sub>; 407<sub>i</sub>; 507<sub>i</sub>) tienen una altura comprendida entre 0,1 mm y 30 mm.
5. Rodamiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el o los terminales (307<sub>i</sub>; 407<sub>i</sub>; 507<sub>i</sub>) tienen una altura comprendida entre 0,5 mm y 1,5 mm.
- 40 6. Rodamiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el objetivo (301; 401; 511) tiene la forma general de un disco y los terminales están repartidos a lo largo de una banda anular circular.
- 45 7. Rodamiento según la reivindicación 1, en el que los primeros (129<sub>j</sub>; 139<sub>j</sub>; 149<sub>j</sub>) y segundos (131<sub>k</sub>; 141<sub>k</sub>; 151<sub>k</sub>) motivos conductores elementales tienen respectivamente la forma de porciones de primera y segunda bandas (130; 138, 142; 148, 152, 154) superpuestas paralelas a dicha dirección.
8. Rodamiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que N es un número par.
- 50 9. Rodamiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que r es igual a 1.
10. Rodamiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el casquillo de rodamiento es un casquillo de rodamiento de bolas.

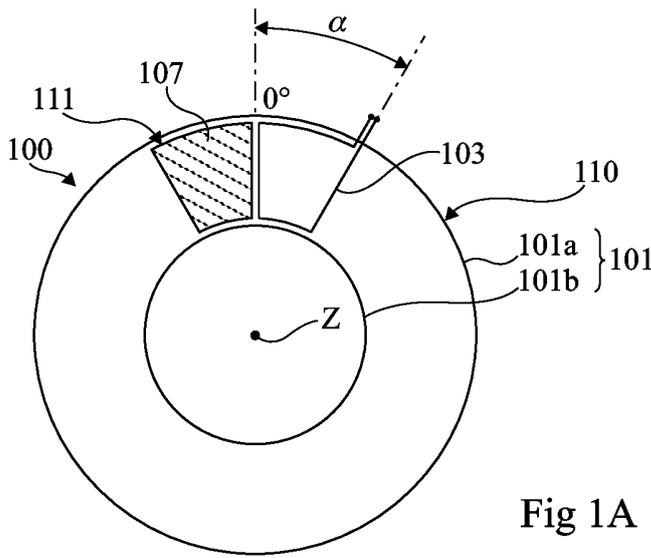


Fig 1A

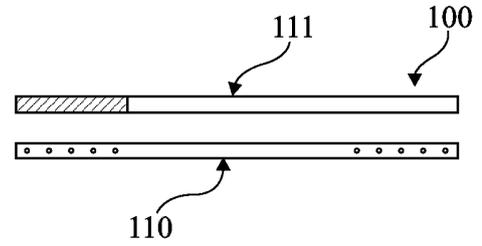


Fig 1B

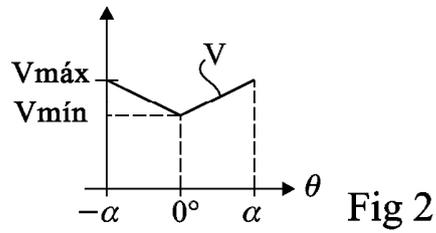


Fig 2

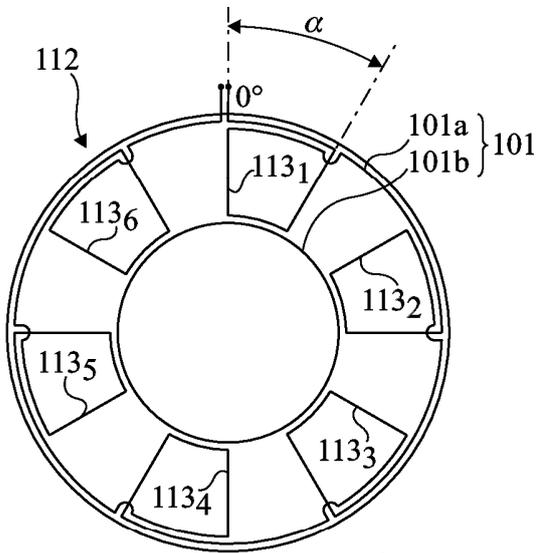


Fig 3A

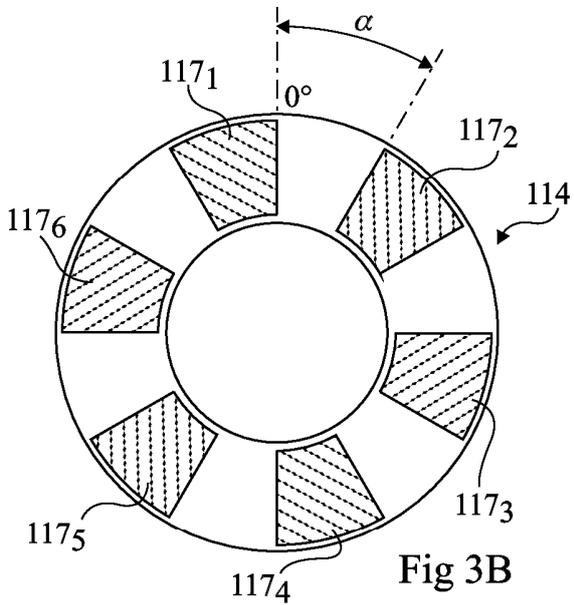


Fig 3B

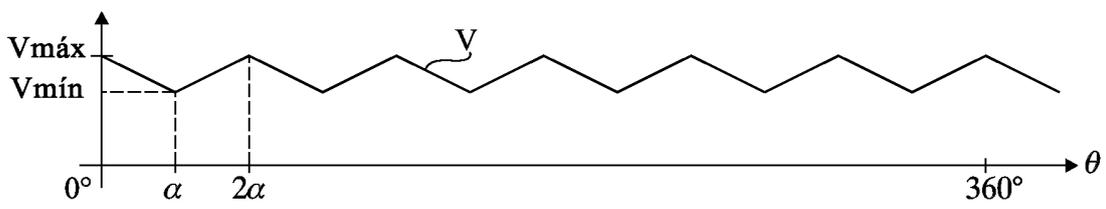


Fig 4

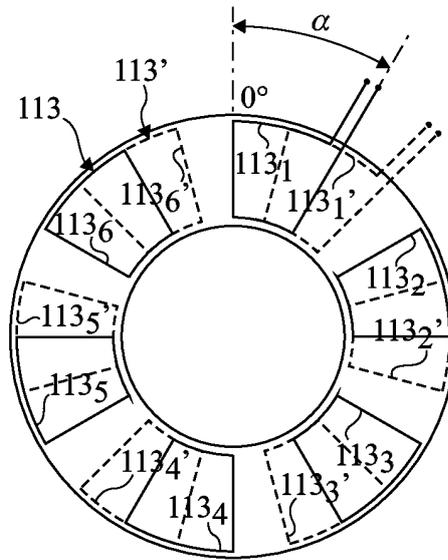


Fig 5

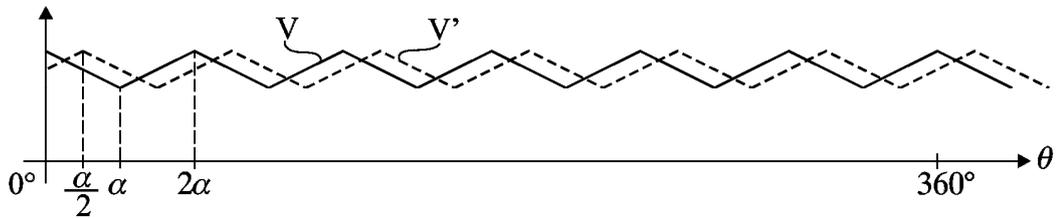


Fig 6

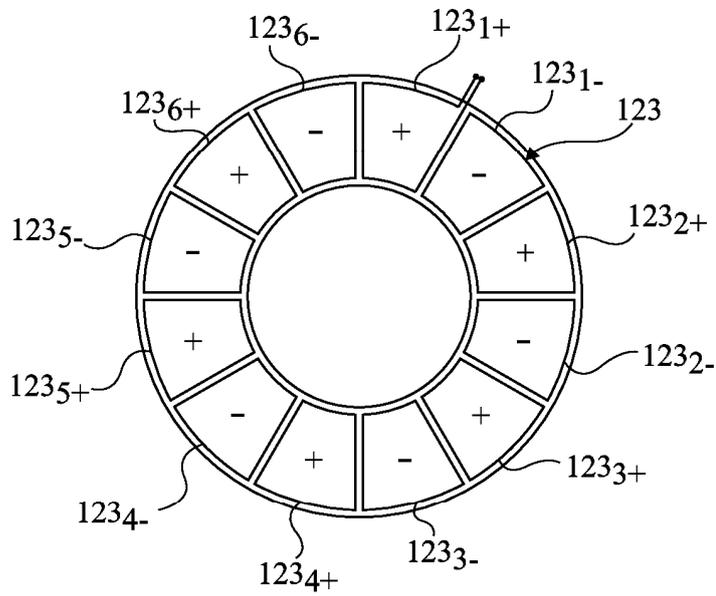


Fig 7

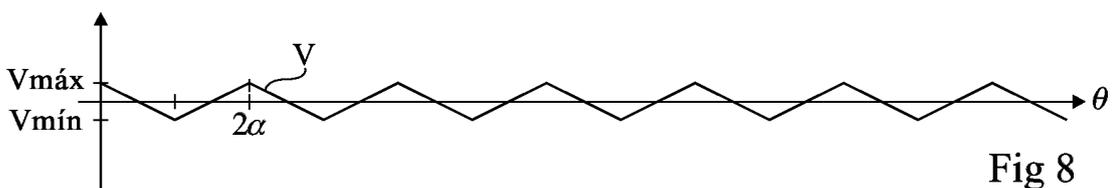


Fig 8

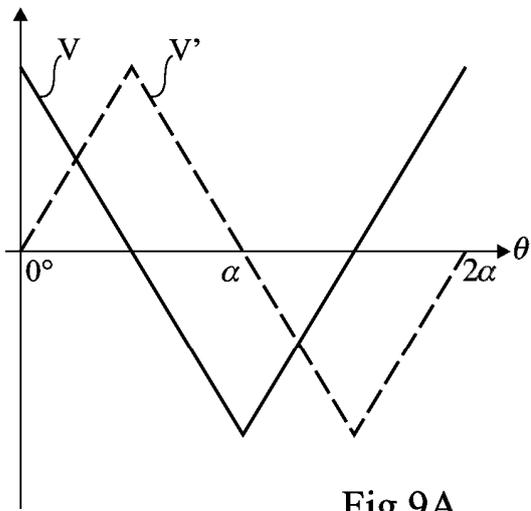


Fig 9A

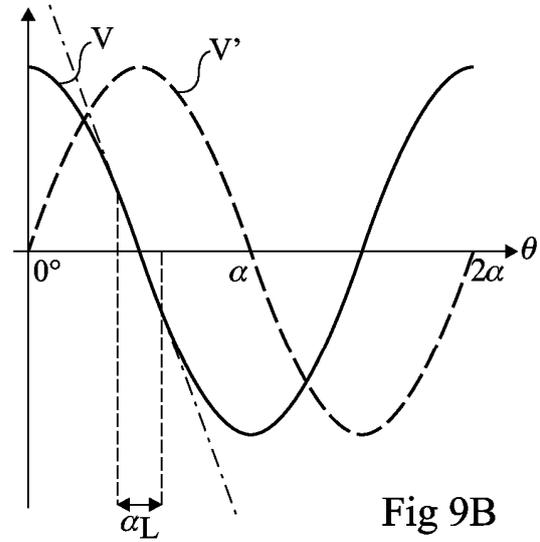


Fig 9B

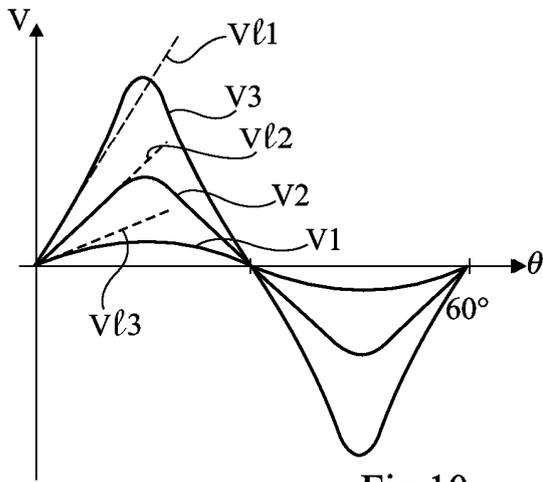


Fig 10

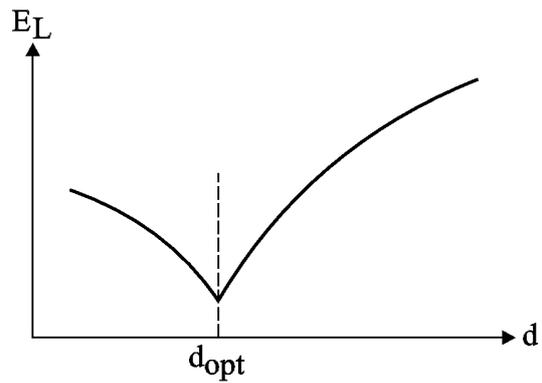


Fig 11

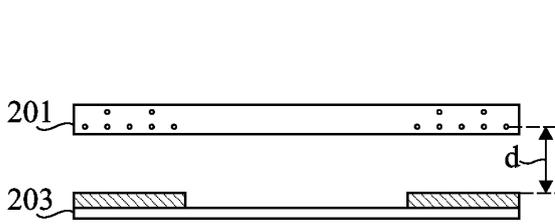


Fig 12A

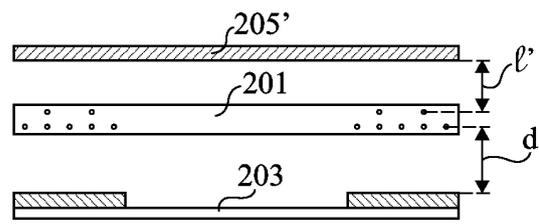


Fig 12C

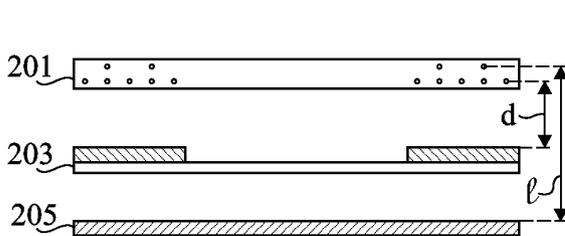


Fig 12B

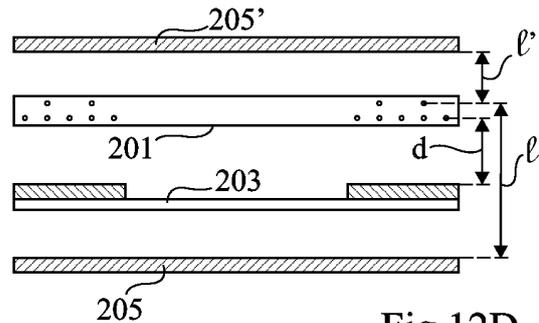


Fig 12D

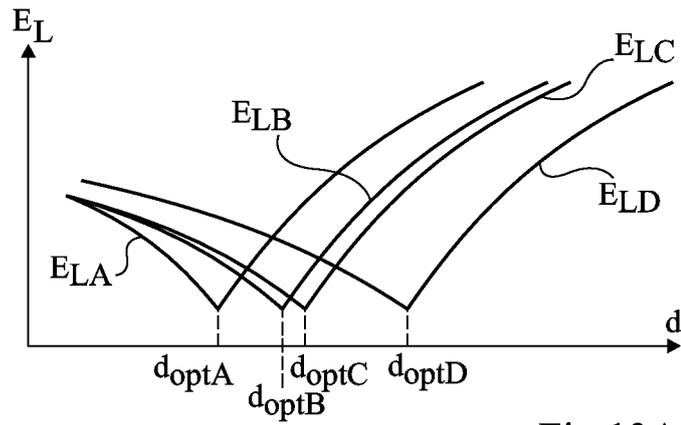


Fig 13A

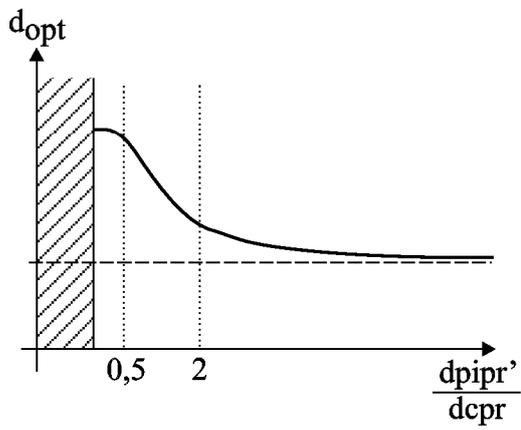


Fig 13B

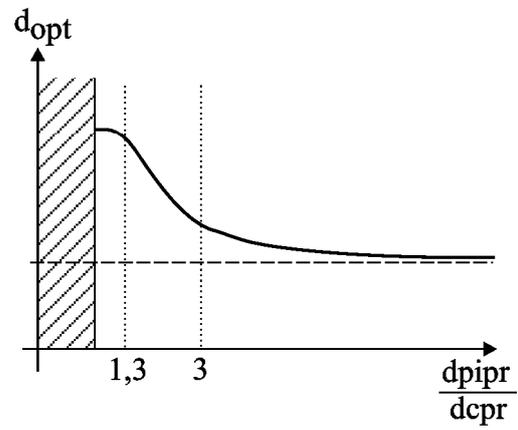


Fig 13C

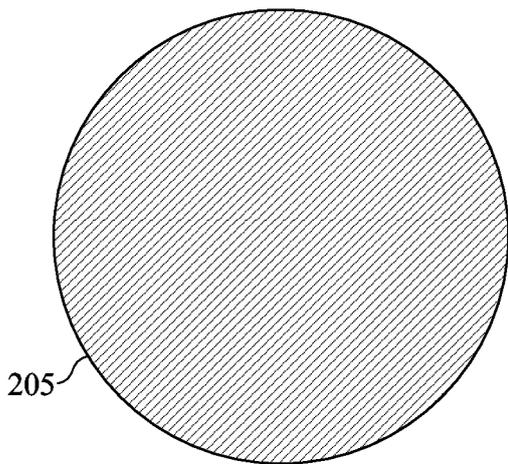


Fig 14

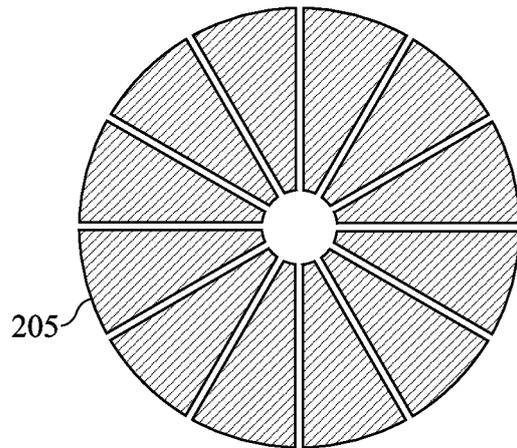


Fig 15

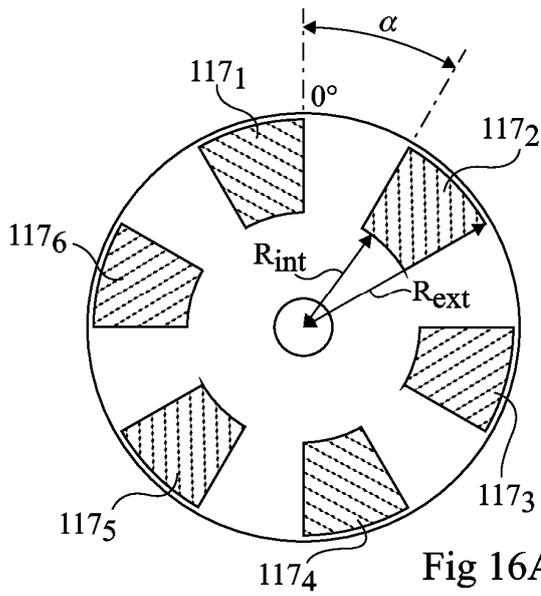


Fig 16A

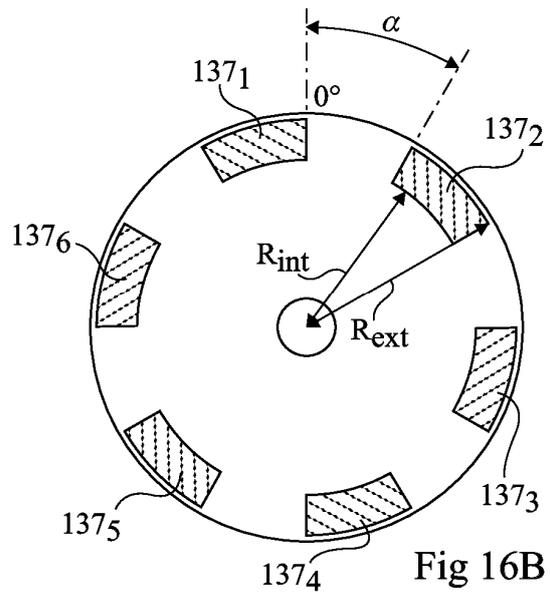


Fig 16B

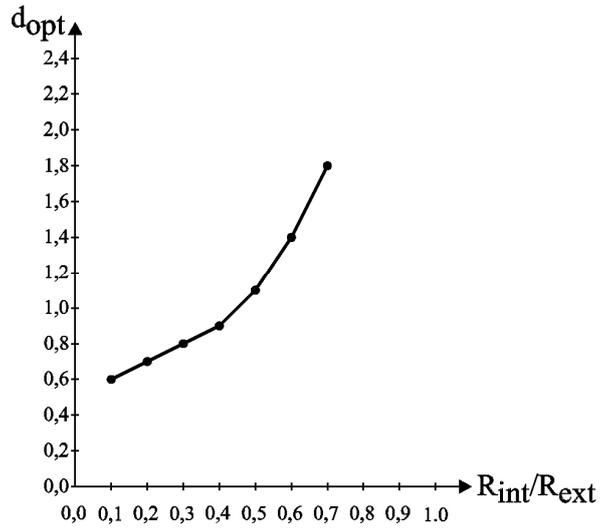


Fig 17

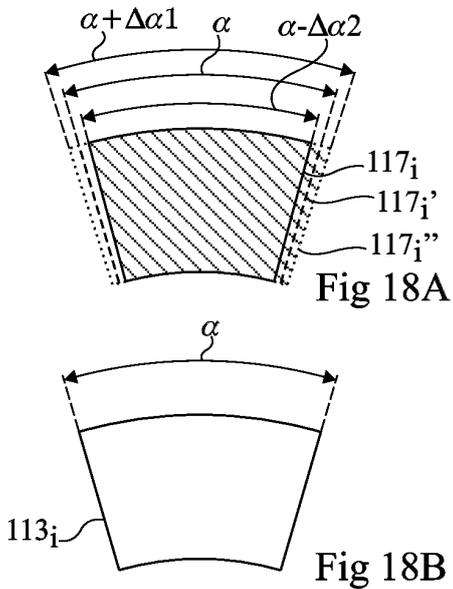


Fig 18A

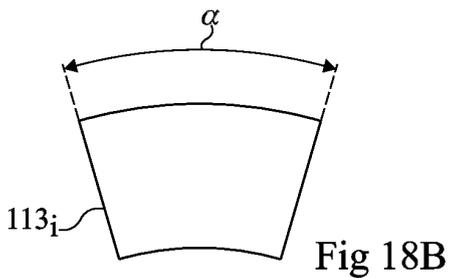


Fig 18B

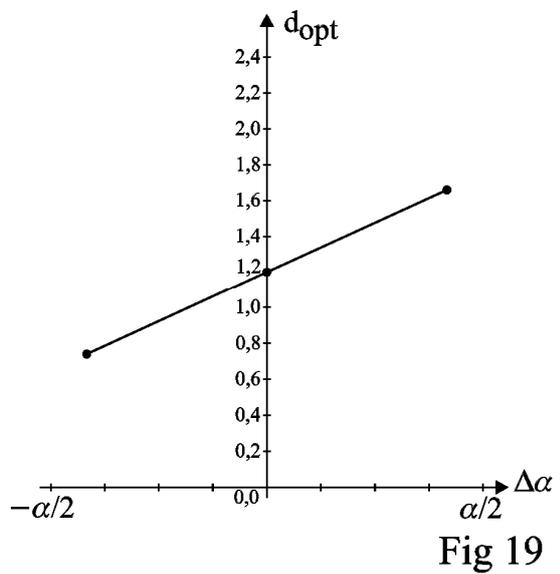


Fig 19

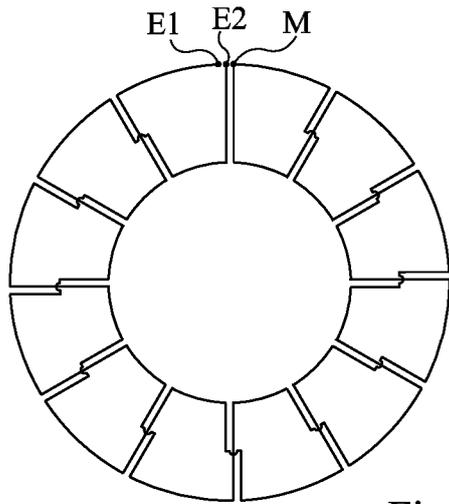


Fig 20A

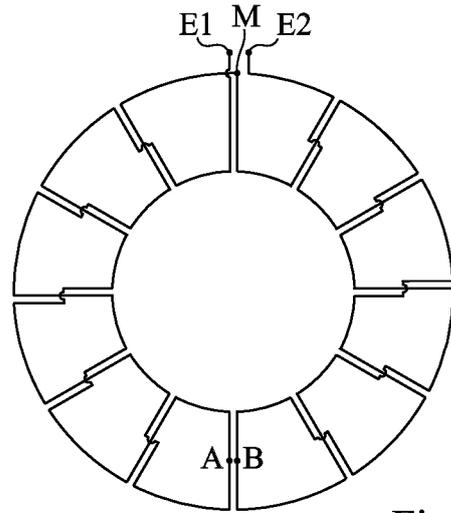


Fig 20C

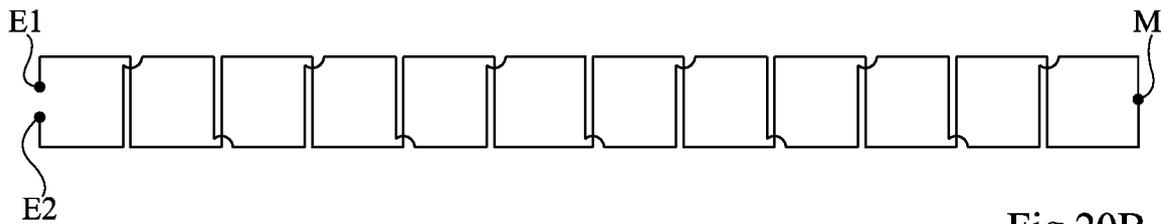


Fig 20B

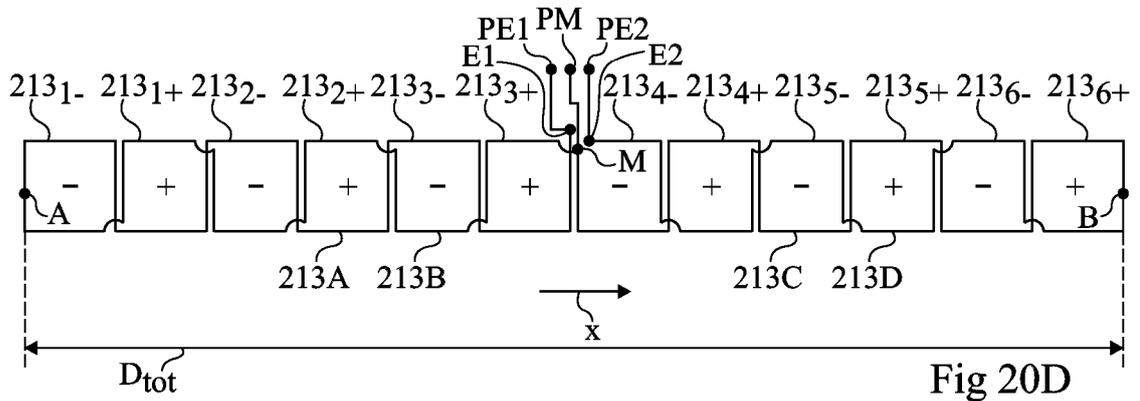


Fig 20D

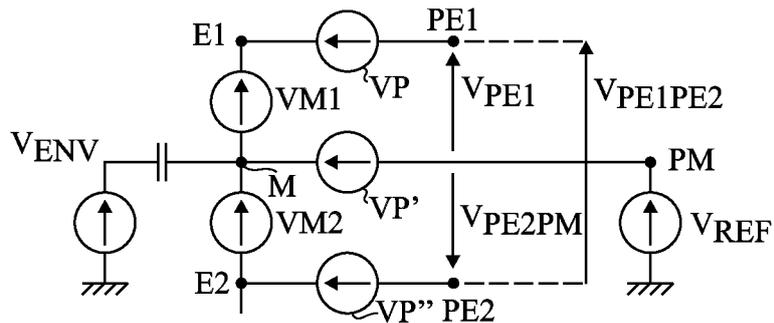


Fig 20E

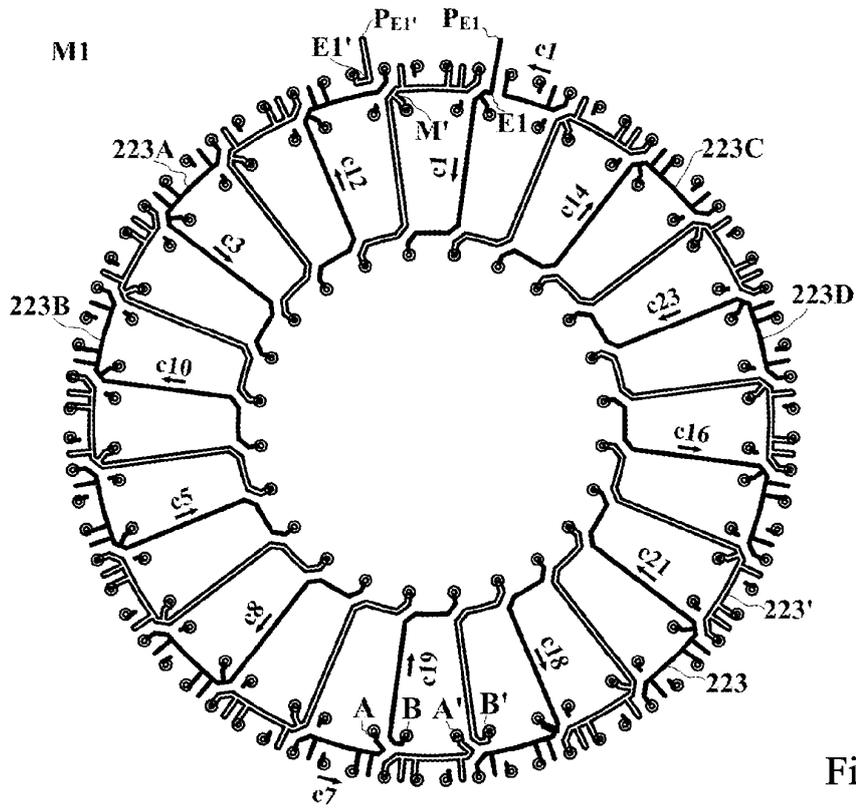


Fig 21A

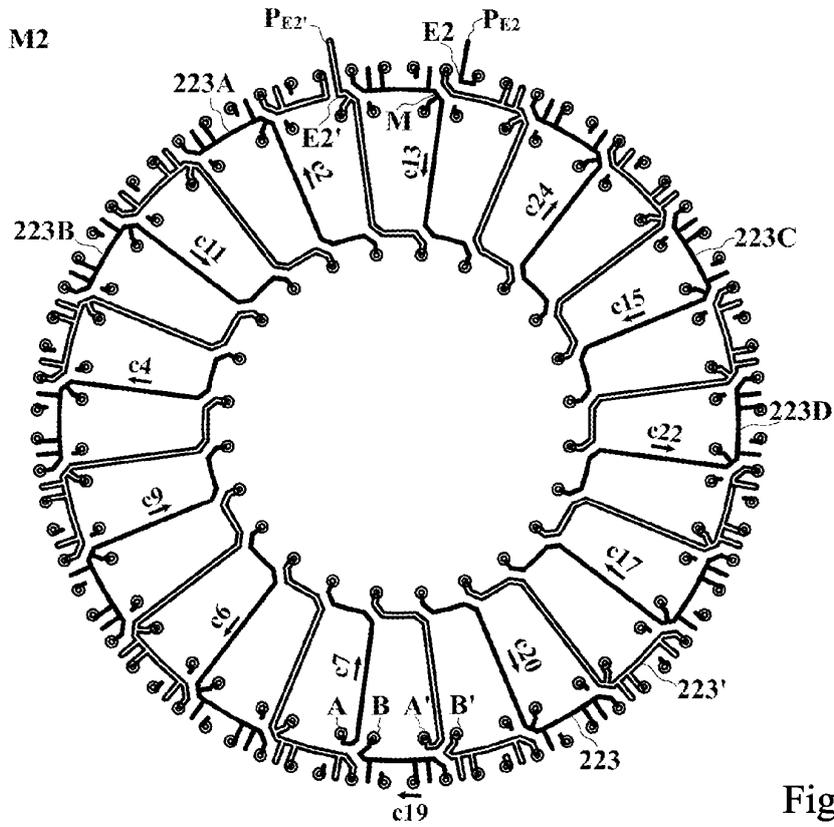


Fig 21B

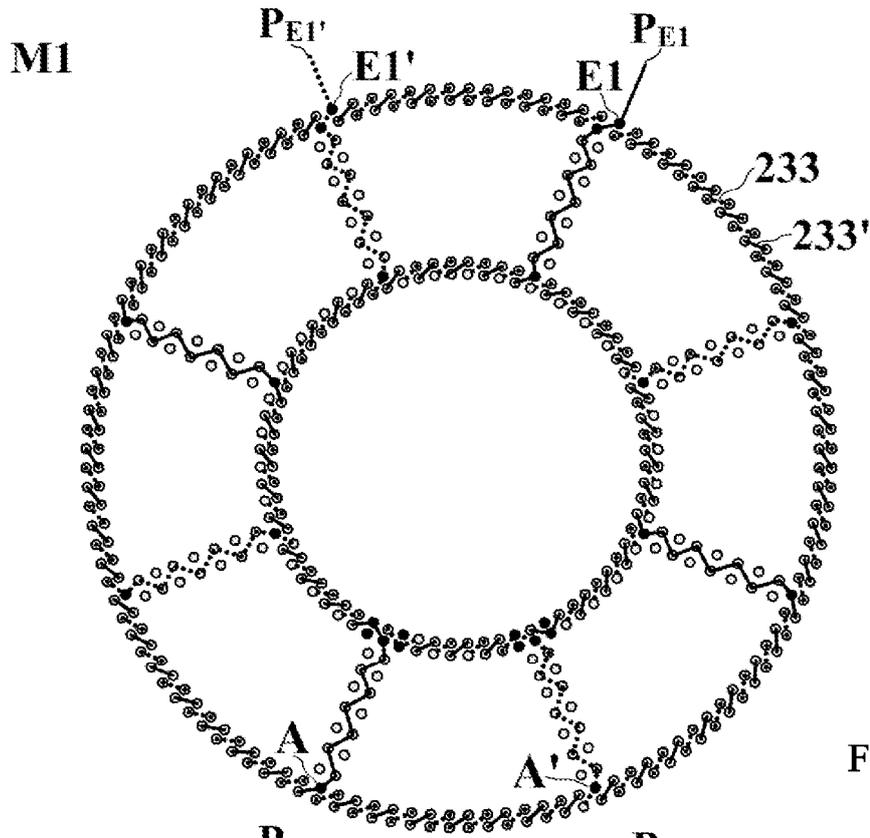


Fig 22A

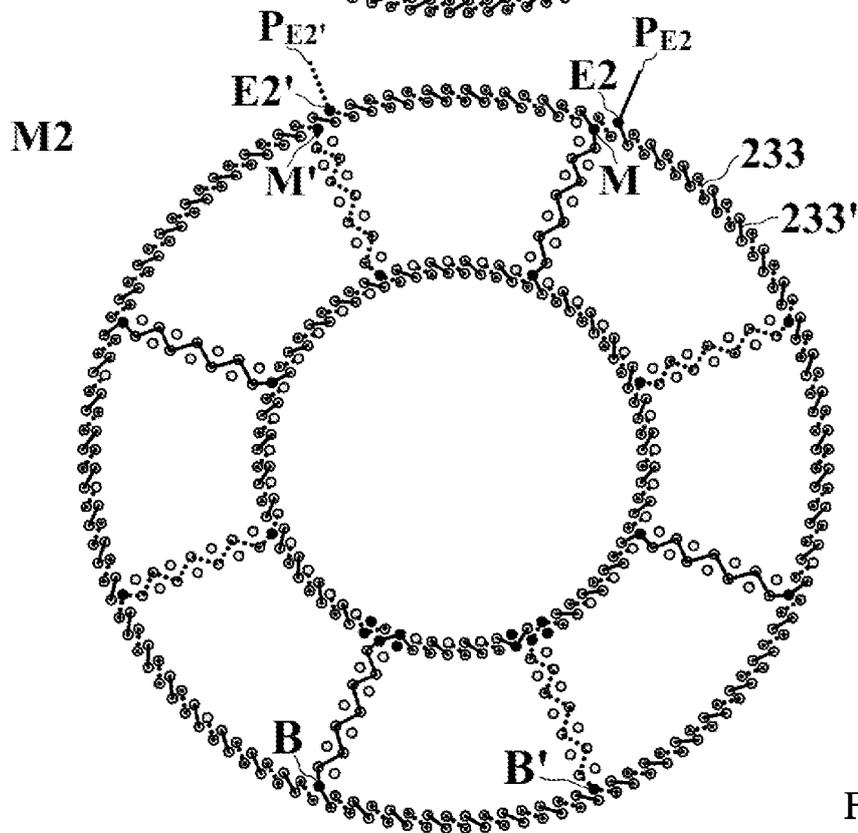


Fig 22B

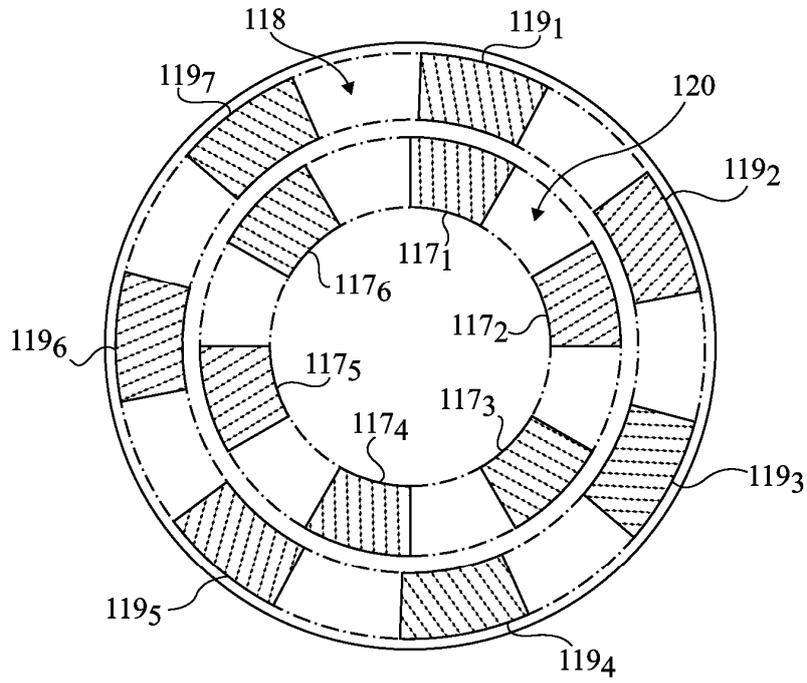


Fig 23

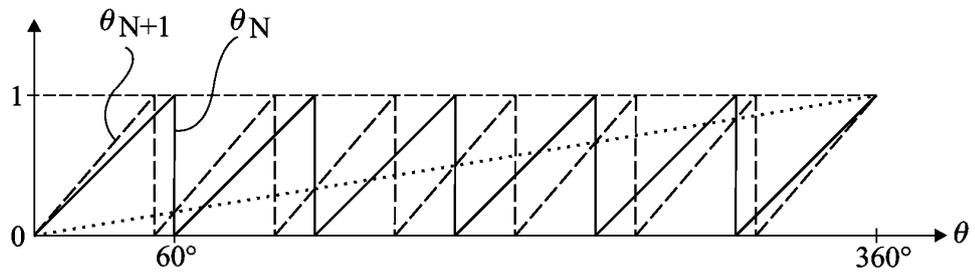


Fig 24

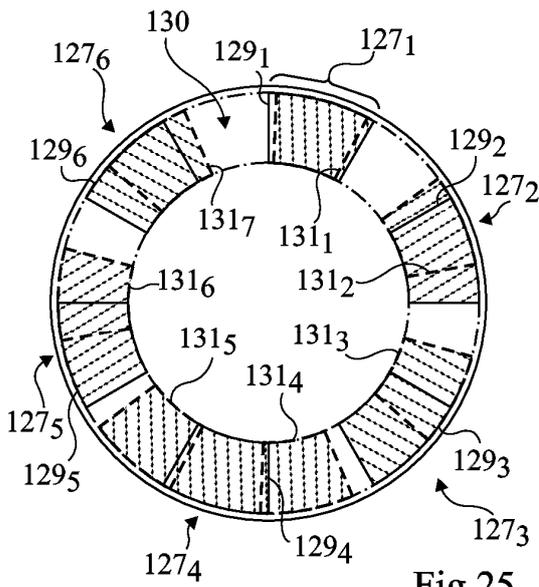


Fig 25

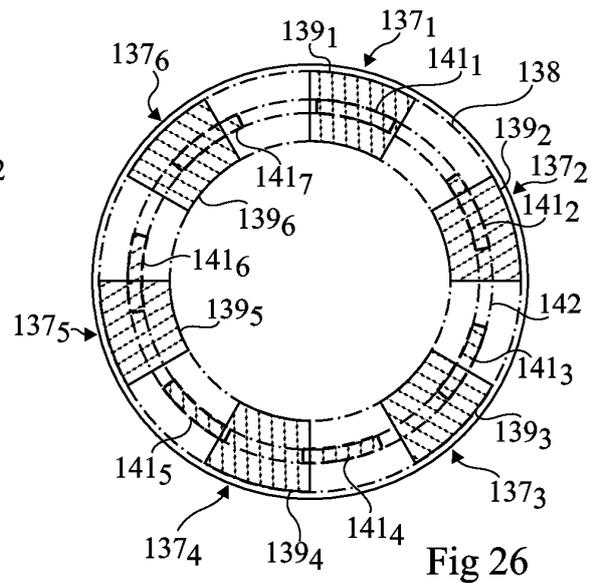


Fig 26

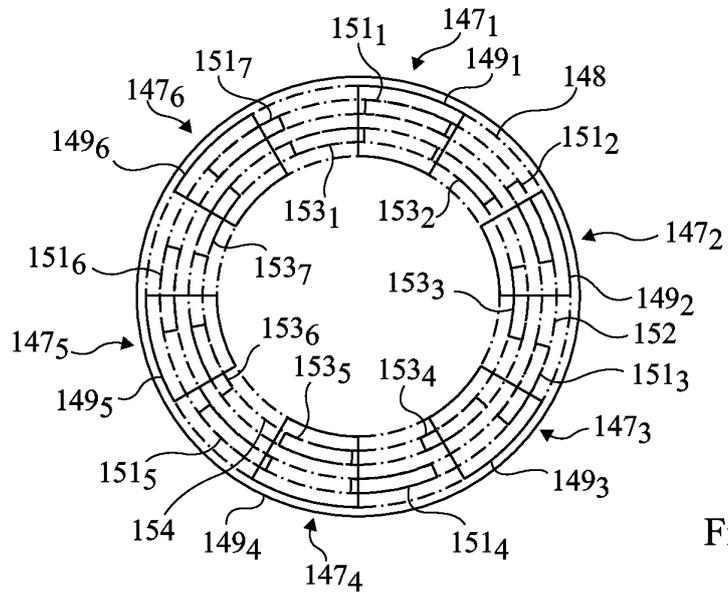


Fig 27A

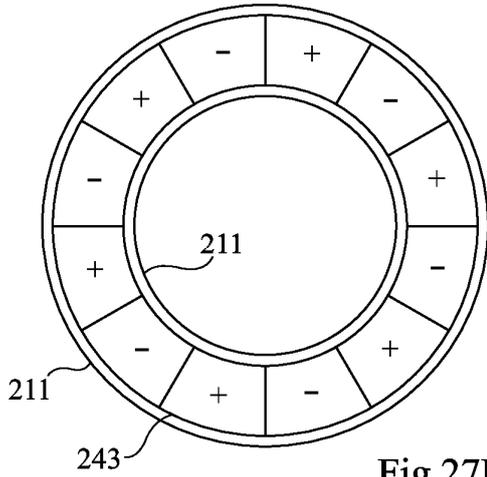


Fig 27B

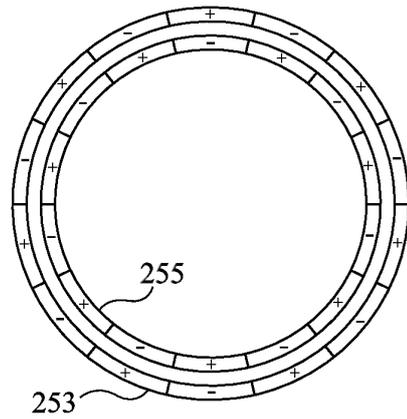


Fig 27C

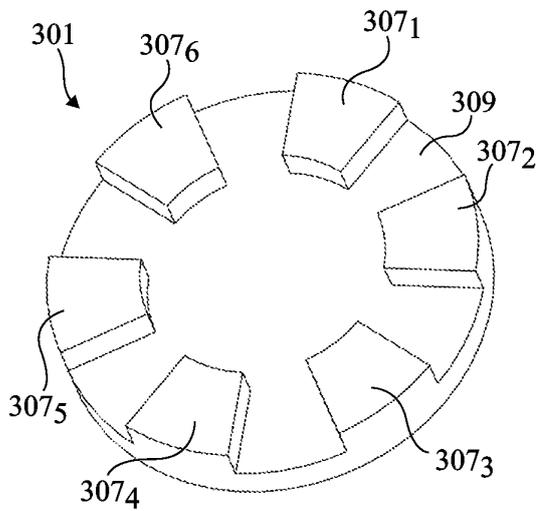


Fig 28

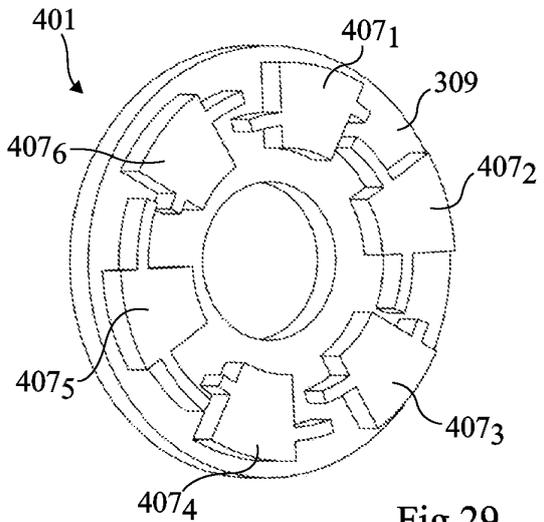


Fig 29

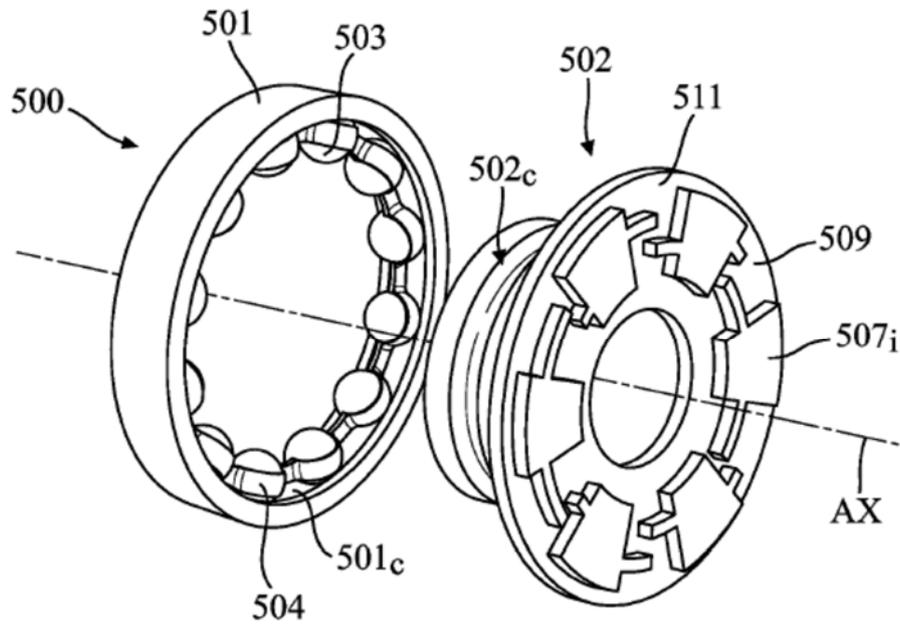


Fig 30