

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 478**

51 Int. Cl.:

G01D 5/14 (2006.01)

G01D 5/245 (2006.01)

G01D 5/249 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2015 PCT/GB2015/053621**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.06.2016 WO16083825**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2015 E 15804214 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018 EP 3224576**

54 Título: **Codificador rotatorio absoluto**

30 Prioridad:

28.11.2014 GB 201421196

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

01.03.2019

73 Titular/es:

**IMPERIAL INNOVATIONS LTD (100.0%)
52 Princes Gate, Exhibition Road
London SW7 2PG, GB**

72 Inventor/es:

**LIU, JINDONG y
YANG, GUANG-ZHONG**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 702 478 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

Codificador rotatorio absoluto

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo de los codificadores rotatorios. En particular, la presente invención se refiere a codificadores rotatorios absolutos.

10 **Antecedente de la invención**

Un codificador rotatorio es un dispositivo que mide la posición angular de un árbol alrededor de un eje de rotación del codificador. Hay dos tipos de codificadores rotatorios: incrementales, que determinan el cambio relativo en la posición o el movimiento del árbol; y absoluto, que determinan la posición absoluta del árbol alrededor del eje de rotación del codificador. Los codificadores rotatorios absolutos se utilizan ampliamente en una amplia gama de aplicaciones y campos técnicos como la robótica, dispositivos médicos, telescopios y máquinas CNC.

Hay muchos tipos de dispositivos codificadores rotatorios absolutos (por ejemplo, magnéticos, capacitivos, mecánicos y ópticos). Para las aplicaciones que requieren un codificador de resolución relativamente alta, los codificadores rotatorios ópticos y magnéticos son los dispositivos más utilizados. Los codificadores rotatorios ópticos son generalmente dispositivos de alta resolución y alta precisión, pero tienden a ser caros. Además de su coste, los codificadores ópticos no son adecuados para muchas aplicaciones debido a su falta de robustez; deben estar alineados con precisión y son particularmente sensibles a contaminantes como la suciedad o la humedad, que pueden causar errores ópticos y provocar lecturas de posición incorrectas. Los codificadores magnéticos tienen una resolución y una precisión más bajas que los codificadores ópticos, pero son más baratos y más robustos. Debido a que la posición angular absoluta se calcula utilizando señales magnéticas en lugar de señales ópticas, los codificadores magnéticos no se ven afectados por la presencia de humedad o partículas contaminantes en la forma en que lo son los codificadores ópticos. Los codificadores magnéticos son, por lo tanto, mucho más adecuados para entornos industriales hostiles.

Hay dos tipos principales de codificador rotatorio magnético: en el eje y fuera del eje, con algunos dispositivos que son una combinación de los dos. Los codificadores rotatorios magnéticos en el eje comprenden un solo imán, polarizado transversalmente al eje de rotación del codificador rotatorio, y una disposición de sensor magnético dispuesta en el eje de rotación del codificador. Un ejemplo de dicho enfoque se describe en el documento US 7317313 B2. Sin embargo, tales dispositivos tienen una resolución relativamente baja y la disposición de los componentes excluye la posibilidad de que el codificador tenga un árbol hueco adecuado para pasar el cableado a su través. Los codificadores rotatorios de mayor resolución utilizan dos campos magnéticos, como el codificador rotatorio del documento US 8760153 B2, que incorpora un elemento magnetizado fuera del eje además del imán en el eje. El elemento magnetizado de esa invención es un anillo dispuesto coaxialmente con el eje de rotación del codificador. Una pista magnética circular que comprende varios pares de polos magnéticos está dispuesta coaxialmente con el eje de rotación en una superficie del elemento magnetizado.

Aunque se aborda el problema de la baja resolución, el cableado aún no puede pasar a través del eje del codificador debido a la presencia del imán en el eje. Los codificadores rotatorios magnéticos totalmente fuera del eje superan este problema al permitir un orificio en el centro del elemento magnetizado. Sin embargo, en ausencia de un imán en el eje, se necesitan múltiples pistas magnéticas fuera del eje para lograr una alta resolución. Los codificadores rotatorios magnéticos fuera del eje comprenden, por lo tanto, un elemento magnetizado con múltiples pistas magnéticas, cada una de las cuales consta de varios pares de polos magnéticos. Las múltiples pistas magnéticas están dispuestas en esas superficies del elemento magnetizado paralelas al eje de rotación del codificador, como con el codificador del documento US 8358124 B2, o en esas superficies del elemento magnetizado perpendicular al eje de rotación, como con el codificador del documento US 7999536 B2.

Los codificadores fuera del eje de alta resolución permiten la posibilidad de un árbol hueco a través del cual se puede pasar el cableado. Sin embargo, se debe mantener un espacio entre cada una de las múltiples pistas magnéticas para evitar la interferencia entre los campos magnéticos de las pistas magnéticas individuales. En consecuencia, el uso de múltiples pistas magnéticas aumenta el grosor o ancho del elemento magnetizado del codificador y, por lo tanto, aumenta el tamaño total del codificador. Existe una clara necesidad de un codificador rotatorio magnético confiable con una resolución suficientemente alta y una estructura compacta.

60 **Sumario de la invención**

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un codificador rotatorio para medir la rotación absoluta alrededor de un eje del codificador rotativo, que comprende:

65 un elemento magnetizado que comprende primera y segunda superficies en ángulo entre sí;
una primera pista magnética provista en la primera superficie y una segunda pista magnética provista en la segunda

superficie, en donde la primera y la segunda pista magnética subtenden un ángulo θ alrededor del eje del codificador rotatorio, en donde cada pista magnética comprende un número de pares de polos magnéticos, un par de polos magnéticos formados por dos regiones de polarización magnética opuesta, en donde el número de pares de polos magnéticos en cada pista es diferente y tienen un factor común mayor de uno; y

5 primera y segunda disposiciones de sensores magnéticos, la primera disposición de sensores magnéticos dispuesta para detectar un campo magnético de la primera pista magnética y la segunda disposición de sensores magnéticos dispuestas para detectar un campo magnético de la segunda pista magnética, en la que las disposiciones de sensores magnéticos están acopladas de manera giratoria al elemento magnetizado alrededor del eje del codificador rotatorio.

10 El codificador rotatorio de la presente invención puede determinar una posición absoluta alrededor del eje de rotación del codificador. Si el elemento magnetizado girara alrededor del eje de rotación del codificador, el campo magnético detectado por cada disposición de sensor magnético fluctuaría debido a la presencia de múltiples pares de polos magnéticos en cada pista magnética y las variaciones subsiguientes en la polarización magnética. Como el número de pares de polos dentro de cada pista dentro del ángulo subtendido θ alrededor del eje del codificador rotatorio, es

15 decir, el número de pares de polos magnéticos, en cada pista son diferentes y tienen el máximo común divisor de uno, combinando las mediciones de las dos disposiciones de sensores magnéticos pueden dar un valor único, que se corresponde con una posición absoluta del codificador rotatorio. La presente invención tiene una arquitectura eficiente; la disposición de las dos pistas magnéticas en diferentes superficies del elemento magnetizado significa que se puede

20 fabricar un codificador rotatorio magnético que es más pequeño que los disponibles actualmente, pero con la misma resolución. La presente invención también podría fabricarse con un árbol hueco a través del cual se podrían pasar los cables, sin que el dispositivo fuera más grande que los disponibles actualmente. Esto podría ser ventajoso para aplicaciones en las que múltiples codificadores rotatorios se unen en serie.

25 Preferiblemente, las superficies primera y segunda del elemento magnetizado son perpendiculares entre sí. Además, en realizaciones preferidas, las disposiciones de sensor magnético están orientadas perpendicularmente entre sí. Esta arquitectura garantiza que el tamaño total del codificador se minimice.

En realizaciones preferidas, cada pista magnética forma un arco circular. El arco puede estar completo o incompleto, dependiendo del rango de medición requerido. En realizaciones preferidas, el arco está completo, lo que permite la

30 medición alrededor de un círculo completo. Por ejemplo, el elemento magnetizado puede ser preferiblemente un anillo circular dispuesto coaxialmente alrededor del eje del codificador rotatorio. Además, en realizaciones preferidas, el ángulo θ es igual a 360 grados. La geometría de estas realizaciones preferidas permite que el codificador mida la posición absoluta en todo el rango de 360 grados, al tiempo que permite un pequeño dispositivo con la opción de un orificio en el elemento magnetizado a través del cual se puede pasar el cableado.

35 En realizaciones preferidas, cada disposición de sensor comprende una pluralidad de sensores. Preferiblemente, los sensores en la primera disposición de sensores están separados por una distancia angular alrededor del eje del codificador rotatorio, que es lo mismo que un ancho angular de los polos dentro de la primera pista magnética. De manera similar, los sensores en la segunda disposición de sensores pueden estar separados preferiblemente por una

40 distancia angular 'alrededor del eje del codificador rotatorio, que es lo mismo que un ancho angular de los polos dentro de la segunda pista magnética. De esta manera, cada sensor puede ubicarse adecuadamente con respecto a los pares de polos magnéticos de la pista magnética correspondiente.

45 En una realización preferida, la relación de la distancia r de los sensores de la primera disposición del sensor magnético desde el eje del codificador rotatorio al número de pares de polos magnéticos N en la primera pista magnética es igual a la relación de la distancia r' de los sensores de la segunda disposición del sensor magnético desde el eje del codificador rotatorio al número de polos magnéticos M en la segunda pista magnética. De esta manera, las disposiciones de sensores del mismo diseño (particularmente la misma separación entre sensores) se pueden usar para ambas disposiciones de sensores y se pueden ubicar adecuadamente con respecto a la primera y la segunda

50 pista magnética.

Preferiblemente, los sensores son sensores Hall. Estos sensores proporcionan mediciones confiables que pueden integrarse fácilmente con otros componentes electrónicos.

55 Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 60 La figura 1 ilustra la disposición del elemento magnetizado y las disposiciones del sensor magnético;
 La figura 2 muestra lecturas de salida a modo de ejemplo de las dos disposiciones de sensores magnéticos;
 La figura 3 ilustra el método de cálculo de la posición absoluta del codificador rotatorio alrededor del eje de rotación del codificador;
 La figura 4 ilustra el uso de la realización preferida del codificador rotatorio absoluto en una articulación con fines robóticos; y
- 65 La figura 5 muestra un plano esquemático de una cadena cinética de articulaciones robóticas utilizando la

realización preferida del codificador rotatorio absoluto.

Descripción detallada

5 Con referencia a la figura 1, se muestra un codificador rotatorio absoluto de acuerdo con una realización preferida de la presente invención. La posición absoluta del codificador rotatorio se mide alrededor del eje de rotación del codificador 112. El codificador rotatorio absoluto de esta realización comprende: un elemento magnetizado 100; primera y segunda pistas magnéticas 102 y 104; y primera y segunda disposiciones de sensores magnéticos 106 y 108. En esta realización, el codificador rotatorio absoluto también comprende un árbol hueco 110 que está dispuesto coaxialmente con el eje de rotación del codificador 112.

10 El elemento magnetizado 100 en esta realización es un anillo magnetizado circular 100, aunque se pueden usar geometrías alternativas. El anillo magnetizado 100 está dispuesto coaxialmente alrededor del eje de rotación 112 y el árbol hueco 110, de manera que el árbol hueco 110 sobresale a través del orificio en el centro del anillo magnetizado 100. El anillo magnetizado 100 está impreso con una primera pista magnética 102 y una segunda pista magnética 15 104. En esta realización, las dos pistas magnéticas 102 y 104 son pistas magnéticas circulares, aunque se pueden usar geometrías alternativas. Cada pista magnética 102 y 104 está impresa en una superficie diferente, mutuamente perpendicular, del anillo magnetizado 100, de manera que ambas pistas magnéticas 102 y 104 están dispuestas coaxialmente con el eje de rotación 112 y subtienen un ángulo de 360 grados alrededor del eje de rotación 112. La primera pista magnética 102 está impresa en una superficie del anillo magnetizado 100 que tiene un vector normal de superficie orientado perpendicular al eje de rotación 112 del codificador. La segunda pista magnética 104 está impresa en una superficie del anillo magnetizado 100 que tiene un vector normal de superficie orientado en paralelo al eje de rotación 112 del codificador.

20 Cada pista magnética impresa 102 y 104 comprende varios pares magnéticos polares, formándose un par de polos magnéticos de dos regiones de polarización magnética opuesta. Cada polo magnético en la primera pista magnética 102 tiene una longitud de polo (ancho del polo magnético) de D , correspondiente a un ancho angular alrededor del eje del codificador rotatorio de ϕ . Por lo tanto, cada par de polos magnéticos tiene una longitud de par de polos de $2D$. La primera pista magnética 102 comprende N pares de polos magnéticos y la segunda pista magnética 104 comprende M pares de polos magnéticos; N es mayor que M , y N y M tienen un máximo común divisor de 1. En la realización preferida, $N = 50$ y $M = 47$.

25 La longitud del polo de cada polo magnético en la pista 104 varía con la distancia de un punto dado desde el eje de rotación. Sin embargo, el ancho angular de cada polo es constante en ϕ' .

30 La primera disposición de sensor magnético 106 y la segunda disposición de sensor magnético 108 están dispuestas para detectar los campos magnéticos de la primera y la segunda pistas magnéticas 102 y 104, respectivamente. Las disposiciones de sensor magnético 106 y 108 están acopladas de manera giratoria al elemento magnetizado 100 alrededor del eje de rotación 112 del codificador. Como tal, pueden girar alrededor de este árbol. En la realización preferida, las disposiciones de sensor magnético 106 y 108 comprenden cada una cuatro sensores Hall 114 igualmente separados. La distancia d entre los sensores Hall 114 en las disposiciones de sensores magnéticos 106 y 108 corresponde al ancho angular de los polos dentro de la pista magnética detectada por esa disposición. Como tal, la distancia angular alrededor del eje de rotación del codificador que separa los sensores Hall 114 con la primera disposición de sensores es ϕ y en la segunda disposición de sensores es ϕ' .

35 En esta realización, la distancia d entre los sensores Hall 114 en ambas disposiciones de sensor es la misma. Esto simplifica la fabricación. Además, la distancia d puede adicionalmente ser sustancialmente igual a la distancia D que representa la anchura de los pares de polos en la primera pista magnética 102. La primera disposición del sensor magnético 106 está dispuesta para detectar el campo magnético de la primera pista magnética 102 y está dispuesta de tal manera que los cuatro sensores Hall 114 están ubicados en un círculo concéntrico a la primera pista magnética 102, el círculo tiene una circunferencia de $2 * N * D$. De manera similar, la segunda disposición del sensor magnético 108 está dispuesta para detectar el campo magnético de la segunda pista magnética 104 y está dispuesta perpendicular a la primera disposición del sensor magnético 106, de manera que los cuatro sensores Hall 114 en la segunda disposición del sensor magnético están ubicados en un círculo concéntrico a la pista magnética 104, el círculo tiene una circunferencia de $2 * M * D$. Como tal, la relación de la distancia r de la primera disposición del sensor magnético 106 desde el eje del codificador rotatorio al número de pares de polos magnéticos N en la primera pista magnética 102 es igual a la relación de la distancia r' de la segunda disposición del sensor magnético 108 al número de polos magnéticos M en la segunda pista magnética 104 ($r : N$ es igual a $r' : M$). La relación puede ser válida para realizaciones en las que las pistas magnéticas 102 y 104 no forman un círculo completo.

40 El codificador rotatorio absoluto que se muestra en la figura 1 mide la posición absoluta alrededor del eje de rotación 112. El elemento magnetizado 100 gira alrededor del eje de rotación 110 con respecto a las disposiciones de sensor magnético 106 y 108. A medida que el elemento magnetizado 100 gira, las disposiciones del sensor magnético 106 y 108 detectan un cambio en los campos magnéticos de las pistas magnéticas 102 y 104, respectivamente. Dentro de cada par de polos magnéticos, el campo magnético detectado por la disposición respectiva del sensor magnético cambiará dependiendo de la ubicación de los cuatro sensores Hall 114 con respecto al par de polos magnéticos. A

medida que el elemento magnetizado 100 gira, la salida de cada disposición de sensor magnético varía de cero a una lectura máxima de h_{max} . La salida luego cae a cero cuando se alcanza el siguiente par de polos magnéticos y se repite el patrón, y la salida aumenta a h_{max} a medida que el elemento magnetizado 100 continúa girando alrededor del eje de rotación 112.

5 En esta realización, la salida del sensor para la disposición del sensor magnético 106 tendrá N patrones repetidos (a_1 , a_2 a a_N) y la salida del sensor para la disposición del sensor magnético 108 tendrá M patrones repetidos (b_1 , b_2 a b_M). En la figura 2 se muestra un ejemplo de salida de las dos disposiciones de sensor magnético 106 y 108. Debido a la presencia de dos pistas magnéticas 102 y 104, con diferentes números de pares de polos magnéticos, se puede
10 determinar el ángulo absoluto del codificador alrededor del eje de rotación 112; cada posición angular está correlacionada con una combinación única de salidas de disposición de sensores magnéticos.

Las pistas magnéticas 102 y 104 pueden imprimirse consecutivamente en el elemento magnetizado 100. Preferiblemente, el centro de las dos pistas magnéticas circulares 102 y 104 deberían estar estrechamente alineadas con el centro del anillo magnetizado 100. Sin embargo, en la práctica puede haber una ligera variación que surja durante la fabricación, haciendo que las dos pistas magnéticas 102 y 104 no sean exactamente exactamente concéntricas y alineadas con el anillo magnetizado 100. Tales imperfecciones en el posicionamiento de las pistas magnéticas 102 y 104 afectan la salida de las disposiciones de sensores magnéticos 106 y 108. El codificador rotatorio absoluto de la realización preferida, por lo tanto, puede calibrarse como sigue.

La diferencia de señal S_{dif} entre la salida de las disposiciones de sensor magnético 106 y 108 es una función escalonada con múltiples ciclos. Suponiendo que p_1 es la salida del sensor para la disposición del sensor magnético 106 y p_2 es la salida del sensor para la disposición del sensor magnético 108, la diferencia de señal S_{dif} se calcula de la siguiente manera:

$$25 \quad S_{dif} = p_1 - (N/M) * p_2, \text{ si } p_1 - (N/M) * p_2 > b_{umbral}$$

$$S_{dif} = p_1 - (N/M) * p_2 + h_{max} * (N/M),$$

30 de otra manera
donde b_{umbral} es un número cercano a 0 y h_{max} es la lectura máxima del sensor.

Hay N etapas en cada ciclo y N - M ciclos. Estos múltiples ciclos de función de etapa se muestran en la figura 3. Si el elemento magnetizado 100 y las pistas magnéticas 102 y 104 estuvieran alineadas de manera precisa y precisa durante la fabricación, la diferencia de señal S_{dif} en cada ciclo sería idéntica. Sin embargo, las variaciones en la concentricidad de las dos pistas magnéticas 102 y 104 significan que la salida de la señal en cada etapa es ligeramente diferente entre los ciclos. Para cada etapa 1 a N, se encuentra la diferencia de señal media en los ciclos de N - M; este proceso proporciona una línea de referencia r_i para la diferencia de señal en cada etapa (para $i = 1$ a N, r_1 , r_2 a r_N). Para determinar a qué posición corresponde una diferencia de señal dada, S_t equivale a, se puede encontrar el error entre la diferencia de señal S_t y las líneas de referencia r_i (para $i = 1$ a N); la r_i para la cual se minimiza el error es la línea de referencia más probable para S_t .

La figura 4 muestra un uso de la realización preferida de la presente invención en una articulación 450 con fines robóticos. Una caja de engranajes motorizada está acoplada al elemento magnetizado 400 y al árbol hueco 410. Las disposiciones del sensor magnético están acopladas de manera giratoria al elemento magnetizado 400. Las disposiciones de sensor magnético 106 y 108 pueden disponerse en placas de circuito impreso 416 y los sensores Hall 114 conectados a otros componentes electrónicos. El codificador rotatorio se puede colocar en una carcasa 422 y controlar a través de una interfaz 424.

El codificador rotatorio de la presente invención tiene muchas ventajas sobre los diseños de codificador rotatorio anteriores. Debido a la desviación de las pistas magnéticas 102 y 104 en diferentes superficies del elemento magnetizado 100, el anillo magnetizado 100 de la realización preferida puede tener un diámetro más pequeño que los codificadores rotatorios magnéticos convencionales de la misma resolución. Alternativamente, el elemento magnetizado 100 puede tener un orificio en el centro a través del cual puede pasar el cableado, sin que el tamaño del codificador rotatorio aumente para acomodar el orificio. Un codificador rotatorio más pequeño significa que el dispositivo pesa menos por la misma funcionalidad, lo que reduce los costes de material y transporte.

Uno o más de los codificadores rotatorios de la presente invención se pueden usar en serie para formar un brazo robótico 560, como se muestra en la figura 5. La figura 5 ilustra esquemáticamente las ubicaciones y orientaciones de diferentes articulaciones 550 en un brazo robótico, donde las uniones son la articulación 450 de la figura 4.

Un dispositivo robótico para uso médico es un uso a modo de ejemplo del brazo robótico 560 que se muestra en la figura 5. El dispositivo robótico puede comprender un brazo robótico y los dispositivos quirúrgicos podrían acoplarse a un extremo del brazo robótico. Un dispositivo de fijación podría acoplarse a otro extremo del brazo robótico para permitir que el dispositivo robótico se monte para usar en procedimientos quirúrgicos.

En los procedimientos quirúrgicos, los instrumentos quirúrgicos deben colocarse con precisión y, a menudo,

mantenerse en una posición estable durante períodos prolongados de tiempo. En los procedimientos quirúrgicos tradicionales, una enfermera puede mantener un instrumento estable bajo la supervisión del cirujano. Sin embargo, tal proceso es ineficiente y puede conducir a imprecisiones en la colocación de los instrumentos quirúrgicos. Una solución es utilizar brazos de soporte mecánico con múltiples uniones, las cuales se accionan mediante controles manuales, 5 electromagnéticos, neumáticos o hidráulicos. Sin embargo, los brazos de soporte mecánico no pueden retroalimentar la posición exacta de los instrumentos. Además, los brazos de soporte mecánico no pueden contener muchos instrumentos debido a las limitaciones de la carga útil. Para tener información de posicionamiento precisa o una carga útil más alta, se requieren brazos robóticos más pesados, como el brazo robótico Da Vinci Surgical (TM). Sin embargo, tales dispositivos son caros, no son portátiles y requieren capacitación antes de su uso.

10 En un dispositivo robótico como el descrito anteriormente, el codificador rotatorio de la presente invención puede determinar la medición angular absoluta en cada articulación. Combinando la medición del ángulo de cada articulación con la longitud predefinida de cada sección del brazo, se puede calcular la posición y la orientación del instrumento médico. Luego, un cirujano puede predefinir un espacio de trabajo restringido para que el brazo se bloquee si el instrumento está más allá del límite del espacio de trabajo restringido.

15 Aunque en la realización preferida descrita anteriormente, las pistas magnéticas 102 y 104 forman círculos completos que permiten la medición alrededor de 360 grados, se pueden diseñar realizaciones alternativas para medir dentro de un rango particular. Como tal, no es necesario que las pistas magnéticas 102 y 104 se extiendan a través de un círculo completo. En algunas realizaciones, por ejemplo, cada pista magnética puede formar una sección de un arco circular. Sin embargo, como el número de pares de polos magnéticos en cada pista dentro de un ángulo subtendido θ alrededor 20 del eje del codificador rotatorio es diferente y tiene un factor común máximo de uno, sigue siendo posible identificar de forma única cada posición dentro del rango relevante.

Otras variaciones y modificaciones serán evidentes para el experto. Dichas variaciones y modificaciones pueden implicar características equivalentes y otras que ya se conocen y que se pueden usar en lugar de, o además de, las características descritas en este documento. Las características que se describen en el contexto de realizaciones 25 separadas pueden proporcionarse en combinación en una única realización. A la inversa, las características que se describen en el contexto de una única realización también se pueden proporcionar por separado o en cualquier sub-combinación adecuada. Se debe tener en cuenta que el término "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, que el término "un" o "una" no excluye una pluralidad, una sola característica puede cumplir las funciones de varias características enumeradas en las reivindicaciones y signos de referencia en las reivindicaciones no se interpretará como limitante del alcance de las reivindicaciones. También debe tenerse en cuenta que las figuras no están necesariamente a escala; en su lugar, generalmente se hace hincapié en ilustrar los principios de la presente divulgación.

30

REIVINDICACIONES

1. Un codificador rotatorio para medir la rotación absoluta alrededor de un eje del codificador rotatorio, que comprende:
 - 5 un elemento magnetizado que comprende primera y segunda superficies en ángulo entre sí; una primera pista magnética provista en la primera superficie y una segunda pista magnética provista en la segunda superficie, en donde la primera y la segunda pistas magnéticas subtienden un ángulo θ alrededor del eje del codificador rotatorio, en donde cada pista magnética comprende un número de pares de polos magnéticos, un par de polos magnéticos formado por dos polos que definen regiones de polarización magnética opuesta, en donde el número de pares de polos magnéticos en cada pista es diferente y tiene el máximo común divisor de uno; y
 - 10 primera y segunda disposiciones de sensores magnéticos, la primera disposición de sensores magnéticos dispuesta para detectar un campo magnético de la primera pista magnética y la segunda disposición de sensores magnéticos dispuestas para detectar un campo magnético de la segunda pista magnética, en donde las disposiciones de sensores magnéticos están acopladas de manera giratoria al elemento magnetizado alrededor del eje del codificador rotatorio.
 2. El codificador rotatorio de la reivindicación 1, en el que las superficies primera y segunda del elemento magnetizado son perpendiculares entre sí.
 - 20 3. El codificador rotatorio de la reivindicación 2, en el que las disposiciones del sensor magnético están orientadas perpendicularmente entre sí.
 4. El codificador rotatorio de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada pista magnética forma un arco circular.
 - 25 5. El codificador rotatorio de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento magnetizado es un anillo circular dispuesto coaxialmente alrededor del eje del codificador rotatorio.
 6. El codificador rotatorio de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo θ es igual a 360 grados.
 - 30 7. El codificador rotatorio de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada disposición de sensor comprende una pluralidad de sensores.
 - 35 8. El codificador rotatorio de la reivindicación 5, en el que los sensores en la primera disposición de sensores están separados por una distancia angular ϕ alrededor del eje del codificador rotatorio, que es lo mismo que un ancho angular de los polos dentro de la primera pista magnética.
 9. El codificador rotatorio de la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que los sensores en la segunda disposición de sensores están separados por una distancia angular ϕ' alrededor del eje del codificador rotatorio que es lo mismo que una anchura angular de los polos dentro de la segunda pista magnética.
 - 40 10. El codificador rotatorio de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la relación de la distancia r de los sensores de la primera disposición del sensor magnético desde el eje del codificador rotatorio al número de pares de polos magnéticos N en la primera pista magnética es igual a la relación de la distancia r' de los sensores de la segunda disposición del sensor magnético desde el eje del codificador rotatorio al número de polos magnéticos M en la segunda pista magnética.
 - 45 11. El codificador rotatorio de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que los sensores son sensores de Hall.
 - 50 12. Un instrumento quirúrgico que comprende al menos un codificador rotatorio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

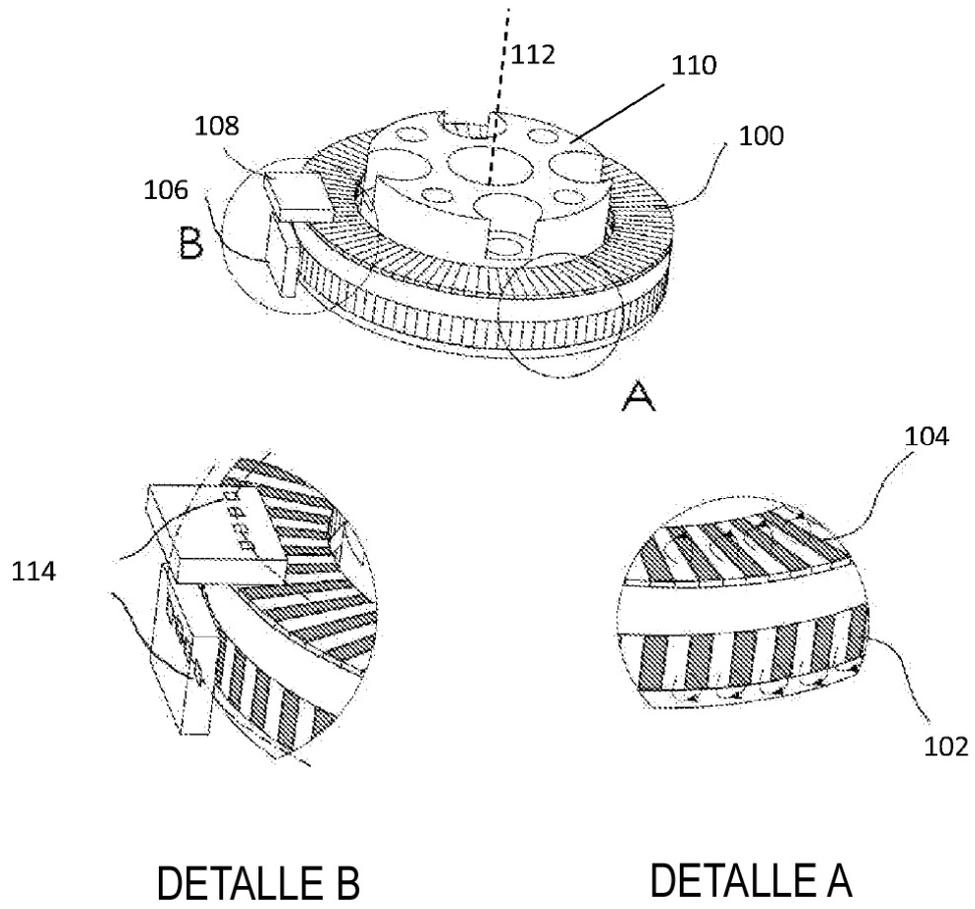


FIGURA 1

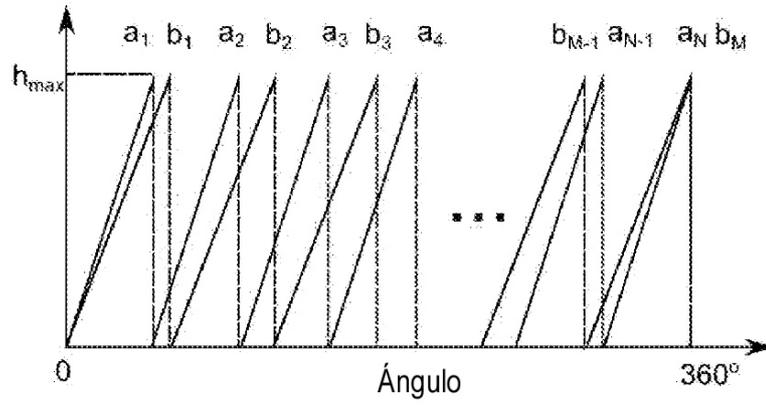


FIGURA 2

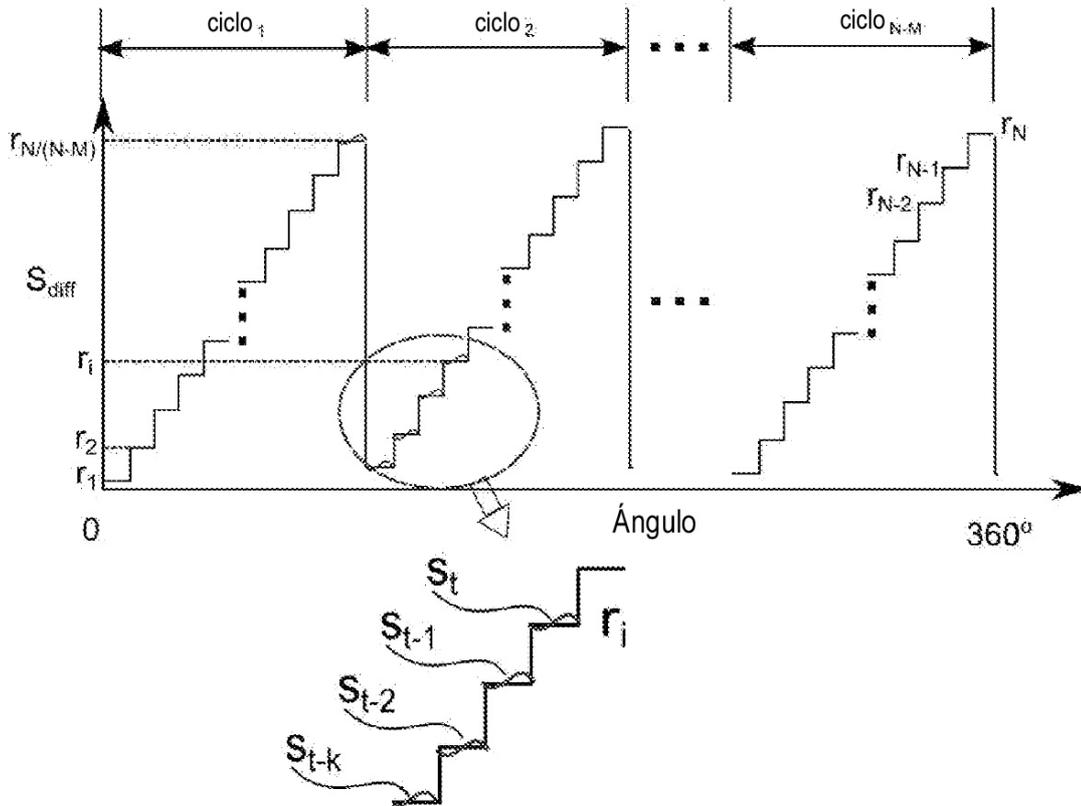


FIGURA 3

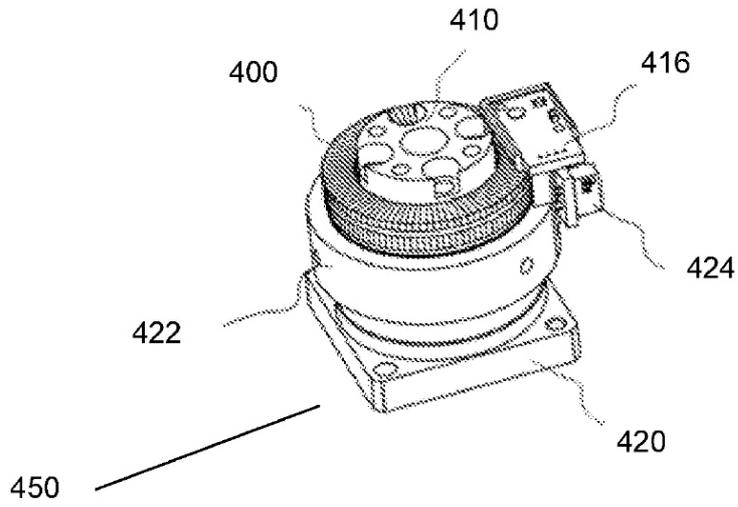


FIGURA 4

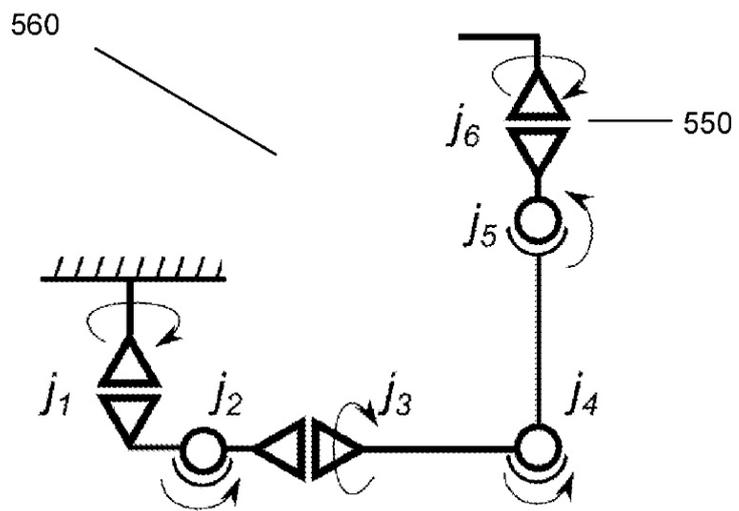


FIGURA 5