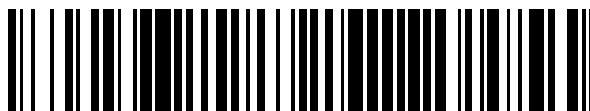


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 007**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/14** (2006.01)

**G01D 5/245** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2010** E 16183496 (5)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019** EP 3118586

54 Título: **Aparato adaptado para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.02.2020**

73 Titular/es:

**ROTORK CONTROLS LIMITED (100.0%)**  
**Brassmill Lane**  
**Lower Weston, Bath BA1 3JQ , GB**

72 Inventor/es:

**STAFFORD, THOMAS;**  
**HINCHCLIFFE, PHILIP;**  
**BUDDEN, ALAN y**  
**LAY, STUART**

74 Agente/Representante:

**SERRAT VIÑAS, Sara**

ES 2 741 007 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

Aparato adaptado para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas

5 La presente invención se refiere un aparato adaptado para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas.

10 Los dispositivos que indican la posición, tales como los codificadores, se usan en muchas aplicaciones, que incluyen detectar la posición de actuadores accionados mecánicamente requeridos para hacer funcionar válvulas de fluido, por ejemplo. Un codificador absoluto es un codificador que puede identificar una posición de un elemento de entrada en un sentido absoluto, por ejemplo, tal como una posición angular específica. Tales codificadores pueden tener batería baja y seguirán siendo capaces normalmente de indicar la posición en términos absolutos cuando se restaura la alimentación, incluso si se movió el codificador cuando la alimentación estaba apagada. Un codificador absoluto de múltiples vueltas normalmente incluye varios engranajes con el fin de determinar la posición absoluta a lo largo de múltiples vueltas. Sin embargo, si un dispositivo de detección del codificador se cae en una posición intermedia, por ejemplo, entre dos posiciones de índice, entonces la medida puede ser indeterminada. Además, si uno de los elementos de detección falla, entonces todo el dispositivo de codificador fallará habitualmente.

20 El documento EP1522486 describe un sensor de ángulo de rotación que tiene engranajes de detección primero y segundo encadenados con y rotatorios con un árbol de dirección, un sensor magnético para detectar un ángulo de rotación del primer engranaje de detección, y un sensor magnético para detectar un ángulo de rotación del segundo engranaje de detección. El sensor de ángulo de rotación tiene también un procesador para calcular un número de periodo del primer engranaje de detección según posiciones rotacionales detectadas por los sensores magnéticos y computar un ángulo de rotación del árbol de dirección según el número de periodo calculado y el ángulo de rotación detectado del primer engranaje de detección.

30 El documento WO03/069270 describe un sensor de posición de árbol rotatorio sin contacto que proporciona computación de precisión de ángulo de árbol para una amplia variedad de ángulos rotacionales del árbol de entrada. El sensor incluye dos imanes bipolares anulares que están conectados mediante un tren de engranajes de precisión que transmite movimiento. Un segundo tren de engranajes opcional entre uno de los imanes y el árbol de entrada puede proporcionar rotación angular adicional escalando para medir de manera precisa, o bien una fracción, o bien un gran número de múltiples vueltas del árbol de entrada. Las razones de engranaje M se seleccionan de modo que uno de los imanes no rota más de una revolución. Pares de sensores magnetorresistivos o de efecto Hall radiométricos proporcionan señales de tensión diferencial que se usan para detectar la posición angular de cada imán a lo largo de todos los 360 grados de rotación. El imán de única vuelta proporciona una indicación aproximada y absoluta de la rotación del árbol de entrada con una precisión típica del 2%. La razón de engranaje entre los imanes produce varias vueltas del segundo imán por cada vuelta del imán de única vuelta. Puesto que la razón de engranaje entre los imanes es fija, el ángulo detectado para el imán de múltiples vueltas puede predecirse a partir de la posición del imán de única vuelta. Esto se compara con la rotación detectada real del imán de múltiples vueltas. El resultado es una mejora en la precisión directamente proporcional a la razón de engranaje entre los imanes. La computación de los ángulos de rotación de imán individuales y el ángulo del árbol de entrada se realiza usando un microprocesador y circuitos de acondicionamiento de señal apropiados. Utilizando dos imanes, la rotación del árbol de entrada puede medirse de manera precisa hasta dentro del 0,1 % del intervalo máximo.

45 El documento DE102005058224 describe un dispositivo que tiene un motor, que está acoplado mecánicamente a un árbol de dirección. Se proporcionan sensores para detectar el ángulo de rotación de un árbol de motor y un árbol auxiliar, respectivamente. La transformación de velocidad entre el árbol de motor y el árbol auxiliar se selecciona de modo que el ángulo de dirección se determina en la región de ángulo de rotación de un árbol de dirección. El ángulo de dirección se determina también basándose en las señales de los sensores respectivos. También se incluye una reivindicación independiente para un método para determinar el ángulo de dirección de un sistema de dirección eléctrico.

55 El documento DE19821467 describe el desarrollo de un sistema para medidas de alta resolución del número de revoluciones, que evalúa el ajuste posicional angular de tres (con accionador diferencial bidimensional) ruedas de engranaje (Z1, Z2, Z3) entre sí, y a partir del cual se obtiene la información con respecto al número de revoluciones, que ha llevado a cabo la rueda de engranaje (Z1).

60 Se pretende que realizaciones de la presente invención aborden al menos algunas de las cuestiones explicadas anteriormente.

Según un primer aspecto de la presente invención se proporciona un aparato adaptado para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas, incluyendo el aparato:

65 un conjunto de elementos rotatorios configurados, en uso, para rotar según una rotación de uno elemento de entrada;

un conjunto de dispositivos de detección configurado para medir y emitir una posición angular de al menos uno de los elementos rotatorios en el conjunto de elementos rotatorios, y

5 un dispositivo configurado para usar las medidas de posición angular a partir del conjunto de dispositivos de detección para producir una indicación de una posición angular del elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas,

en el que los elementos rotatorios están configurados para rotar simultáneamente pero a diferentes velocidades;

10 en el que cada elemento rotatorio en el conjunto tiene una razón de revolución con respecto al/a los otro(s) elemento(s) rotatorio(s) en el conjunto, y en el que los elementos rotatorios están dispuestos de modo que no existe un factor común (aparte de uno) entre las funciones mínimas de las razones de revolución;

15 caracterizado porque, el conjunto de elementos rotatorios comprende al menos tres dichos elementos rotatorios, y el conjunto de dispositivos de detección comprende al menos tres dichos dispositivos de detección, estando cada sensor configurado para medir la posición de un único dicho elemento rotatorio; y

20 en el que, si uno o más de los dispositivos de detección y/o elementos rotatorios desarrollan un defecto, se descarta (n) la(s) lectura(s) defectuosa(s) para dicho sensor y/o elemento(s) rotatorio(s), y un intervalo reducido de posiciones absolutas se determinan usando lecturas para cualquier combinación de los elementos rotatorios restantes.

25 Cada uno de los elementos rotatorios puede tener cualquier razón única (entre los elementos rotatorios) de revolución y puede no existir ninguna restricción en la selección de las razones, por ejemplo, las razones no necesitan ser seleccionadas de modo que satisfagan una relación particular, por ejemplo para trabajar con un algoritmo de descodificación que requiere que los elementos rotatorios tengan posiciones de índice de una base de número entero. Alternativamente, la selección de las razones puede hacerse según uno o más parámetros de diseño. Los elementos rotatorios pueden comprender engranajes con diferentes números de dientes.

30 Opcionalmente, los elementos rotatorios restantes pueden analizarse/combinarse en cualquier secuencia, permitiendo que se manipule como se requiera el intervalo y la precisión de las posiciones absolutas. Puede generarse o usarse una tabla de consulta basándose en las relaciones entre el/los elemento(s) rotatorio(s) restante(s) para calcular la posición absoluta de cada uno del/de los elemento(s) rotatorio(s) restante(s).

35 En uso, los elementos rotatorios normalmente se mueven junto con el elemento de entrada de una manera continua y no escalonada. Los dispositivos de detección pueden proporcionar una medición de posición absoluta de 360° de uno o más de los elementos rotatorios, por ejemplo, usando tecnología óptica, magnética o de RF. El aparato puede incluir de A a N de dichos elementos rotatorios, teniendo cada uno una función mínima respectiva de la razón de revolución,  $R_A$  a  $R_N$ , y en el que un dicho dispositivo de detección tiene un error de pico permisible máximo calculado como:

$$\text{Error de sensor máximo} = \frac{180^\circ}{R_A + R_N}$$

45 En algunas realizaciones, uno de la pluralidad de elementos rotatorios puede ser un elemento rotatorio primario que acciona todos los dichos elementos rotatorios restantes (es decir, los elementos rotatorios restantes no accionan otros de los elementos rotatorios).

50 La pluralidad de elementos rotatorios pueden tener cada uno una posición cero/inicial/de comienzo (rotación) nociónal. El dispositivo puede estar configurado para producir la indicación de posición computando lo lejos que han pasado los elementos rotatorios desde sus posiciones cero. La computación realizada por el dispositivo puede involucrar hacer retroceder virtualmente al menos una, y normalmente la totalidad, de los elementos rotatorios a su posición cero respectiva. El dispositivo puede estar configurado para:

55 hacer retroceder virtualmente uno primero de los elementos rotatorios en una secuencia hasta su posición cero; después cada dicho elemento rotatorio aparte del primer elemento rotatorio en la secuencia:

60 computar una posición virtual del elemento rotatorio basándose en un ángulo a través del cual un elemento rotatorio anterior en la secuencia ha rotado cuando se estaba haciendo retroceder virtualmente, y hacer retroceder virtualmente el elemento rotatorio y todos lo(s) elemento(s) rotatorio(s) anteriores en la secuencia de modo que estén en sus posiciones cero.

La etapa de computación puede usar datos almacenados, tal como una tabla de consulta, que representan una posición de un dicho elemento rotatorio cuando lo(s) elemento(s) rotatorio(s) anterior(es) en la secuencia está(n)

todas en su(s) posición/posiciones cero, y datos que representan cuántas veces todos los elementos rotatorios anteriores en la secuencia han pasado juntos por sus posiciones cero cuando el elemento rotatorio está en una dicha posición correspondiente.

5 Los elementos rotatorios pueden disponerse de una manera coplanaria o coaxial.

Puede proporcionarse un conjunto que comprende más de un dicho dispositivo de detección para medir la posición de un único dicho elemento rotatorio, de modo que si uno de los dispositivos de detección en el conjunto desarrolla un defecto entonces se usa en su lugar otro dicho dispositivo de detección en el conjunto.

10 El aparato puede no estar dotado de alimentación contante. En algunas realizaciones, los dispositivos de detección miden posiciones de los elementos rotatorios que resultan del movimiento mientras que no se proporciona alimentación al aparato. Puede incluirse una disposición de conmutador para habilitar que los dispositivos de detección se activen cuando lo(s) elemento(s) rotatorio(s) se mueve(n).

15 El conjunto de dispositivos de detección puede comprender más de un dicho dispositivo de detección que se proporciona para medir la posición de un único dicho elemento rotatorio, de modo que si uno de los dispositivos de detección en el conjunto desarrolla un defecto entonces se usa otro dicho dispositivo de detección en el conjunto.

20 También se describe en el presente documento un método para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas, incluyendo el método:

25 medir una posición angular de al menos dos elementos rotatorios configurados, en uso, para rotar según una rotación de un elemento de entrada, estando configurados los elementos rotatorios para rotar simultáneamente pero a diferentes velocidades, y

producir una indicación de una posición angular del elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas usando las medidas de posición angular.

30 El método puede incluir además:

realizar mediciones de posición de uno primero de los elementos rotatorios a lo largo de un periodo de tiempo;

35 realizar mediciones de posición de otro de los elementos rotatorios a lo largo del periodo de tiempo;

comparar la posición medida del otro elemento rotatorio con una posición esperada del otro elemento, dadas las posiciones medidas del primer elemento y una relación conocida entre rotaciones de los elementos, y si la posición medida del otro elemento rotatorio no corresponde con la posición esperada entonces señalar un posible estado de error de lectura.

40 El método puede incluir comprobar errores de lectura detectando la falta de rotación angular de al menos uno de los elementos rotatorios.

45 El método puede incluir determinar una posición absoluta del elemento de entrada usando datos relacionados con una posición angular de un único de los elementos rotatorios, o una combinación de posiciones de un subconjunto de los elementos rotatorios. El método puede incluir, tras la detección del fallo de uno (o más) de los elementos rotatorios:

50 medir una posición angular de dicho(s) elemento(s) rotatorio(s) sin fallos, y

producir una indicación de una posición angular del elemento de entrada a lo largo de un intervalo reducido de múltiples vueltas usando las medidas de posición angular de lo(s) elemento(s) rotatorio(s) sin fallos.

55 El método puede incluir además proporcionar al menos un contador de incrementos asociado con al menos uno de los elementos rotatorios, y

usar la salida del al menos un contador de incrementos para calcular la posición del elemento de entrada basándose en una cuenta de múltiples vueltas del al menos un elemento rotatorio asociado.

60 También se describe en el presente documento un método para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas, incluyendo el método:

65 medir una posición de una pluralidad de elementos rotatorios que, en uso, se mueven según el movimiento de un elemento de entrada, teniendo cada uno de los elementos rotatorios una posición cero/inicial/de comienzo (rotación) nomenclal, y

computar lo lejos que han pasado los elementos rotatorios desde sus posiciones cero para producir la indicación de posición angular de múltiples vueltas del elemento de entrada.

5 También puede proporcionarse un producto de programa informático configurado para realizar al menos parte de un método sustancialmente tal como se describe en el presente documento.

La invención se extiende a cualquier característica, o cualquier combinación de características descritas en el presente documento, aunque esa combinación se describa o no explícitamente en el presente documento.

10 La invención puede llevarse a cabo de numerosas maneras, estando descrito e ilustrado sólo un ejemplo con referencia a los dibujos, en los que:

La figura 1 es una vista en planta de una realización a modo de ejemplo parcialmente montada;

15 la figura 2 es una vista en despiece ordenado de la realización a modo de ejemplo;

la figura 3 es un dibujo esquemático de elementos de detección en una realización a modo de ejemplo;

20 la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de la realización, incluyendo una etapa de cálculo de posición y una etapa de "retroceso virtual" de engranaje;

la figura 5 detalla la etapa de cálculo de posición;

25 la figura 6 detalla la etapa de "retroceso virtual" de engranaje;

las figuras 7A - 7D se relacionan con un ejemplo práctico de funcionamiento de la realización;

las figuras 8A y 8B ilustran un ejemplo de la medición angular de un elemento rotatorio del dispositivo, y

30 la figura 9 es un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento del aparato que involucra un contador de incrementos.

Haciendo referencia a las figuras 1 y 2, se muestra un dispositivo 100 que indica la posición a modo de ejemplo. El dispositivo comprende una placa 102 base de alojamiento en la que pueden encajarse los elementos 104A - 104D rotatorios. En el ejemplo, hay cuatro elementos rotatorios, que toman la forma de engranajes 104A - 104D dentados. Sin embargo, se apreciará que pueden usarse otros tipos de elementos rotatorios y no es necesario que incluyan formaciones tales como dientes para accionarse directamente entre ellos.

40 Puede considerarse que un primer engranaje 104A comprende un engranaje primario que acciona los otros tres engranajes 104B - 104D, es decir, los otros tres engranajes 104B - 104D sólo se engranan con los dientes del primer engranaje 104A, y no entre sí. El primer engranaje se acciona mediante un engranaje 106 de entrada, que rota según un elemento de entrada, que puede ser una columna de un accionador de válvula, por ejemplo (véase la figura 3). Por tanto, el primer engranaje 104A se acciona directamente mediante el engranaje 106 de entrada, mientras que los otros tres engranajes 104B - 104D se accionan indirectamente mediante el engranaje de entrada (por medio del primer engranaje 104A). Se apreciará que en otras realizaciones más de uno, o la totalidad, de los engranajes pueden accionarse directamente mediante el engranaje de entrada.

50 El dispositivo 100 a modo de ejemplo se monta con los engranajes 104A - 104D en sus correctas "posiciones cero". Para ayudar con esto, uno o más de los engranajes (y/o componentes de alojamiento) pueden incluir marcas. En el ejemplo, el primer engranaje 104 incluye marcas en forma de tres flechas. Se pretende que éstas se alineen con las flechas marcadas correspondientemente en los otros engranajes 104B - 104D. Adicional o alternativamente, pueden proporcionarse "orificios de ubicación cero" 107A - 107D en los engranajes, que pueden alinearse con rebajes/marcas 123B - 123D correspondientes en la placa 102 base (algunos visibles en la figura 2). Puede usarse un útil (no mostrado) para ayudar con el montaje. Puede encajarse una etiqueta 111 de código de barras en el dispositivo 100 así como un relleno 116 de espuma superior.

60 En el dispositivo a modo de ejemplo los engranajes y elementos de alojamiento comprenden partes de plástico moldeado. Debido a la alta tolerancia para la holgura en el dispositivo y sus bajos requisitos de precisión, pueden usarse componentes de bajo coste de tal tipo; sin embargo, se entenderá que pueden usarse otros materiales y que el diseño y las dimensiones del dispositivo pueden variar del ejemplo ilustrado. Tener una única disposición de accionamiento en forma de engranaje 104A tal como en el ejemplo ilustrado tiene el beneficio de reducir los efectos de la holgura; sin embargo, se apreciará que pueden usarse otras disposiciones, por ejemplo, engranajes en trenes accionándose entre sí.

65 Volviendo al ejemplo ilustrado en las figuras 1 y 2, cada uno de los cuatro engranajes 104A - 104D se dota de un componente 110A - 110D compatible con el sensor respectivo, por ejemplo, un imán para un dispositivo de

detección magnético. Se encajan espaciadores 108 entre los engranajes y los componentes 110. Se encaja una placa 113 de alojamiento superior sobre los componentes y esta aloja también una placa 114 de circuito impreso. La placa incluye un conjunto de circuitos que funciona como dispositivo de detección (mostrado esquemáticamente en 114A) que puede detectar las posiciones de los componentes 110A - 110D compatibles con el sensor y por tanto proporcionar una medición de posición absoluta de los cuatro engranajes a lo largo de los 360°. Puede basarse la disposición de detección en cualquier tecnología de detección angular, por ejemplo óptica, magnética o de RF. Los sensores de RF y magnéticos pueden ofrecer también detección de defectos incorporada: si un imán se separa de un engranaje o se desmanta, el sensor puede detectar esto. También es posible usar dispositivos de sensor que proporcionen una salida analógica.

Se entenderá que en realizaciones alternativas los elementos rotatorios pueden incluir componentes compatibles con el sensor integrados o que pueden determinarse sus posiciones angulares mediante el sensor de otra manera, tal como identificando visualmente la posición angular, por ejemplo, detectando una marca en una superficie del elemento rotatorio. Se apreciará que en realizaciones alternativas el dispositivo de detección y/o procesador puede ubicarse de manera remota desde otros componentes del dispositivo transfiriéndose señales por medio de señales inalámbricas/de RF, por ejemplo. En otras realizaciones, los dispositivos de detección pueden incorporarse dentro de los elementos rotatorios/engranajes. Pueden producirse otras variaciones del dispositivo 100 a modo de ejemplo mostrado en las figuras. Por ejemplo, los elementos rotatorios pueden disponerse de manera coaxial en vez de coplanaria (o una combinación coaxial/coplanaria, o cualquier otra disposición), que puede dar como resultado una reducción de tamaño/beneficios del diseño.

El circuito 114 incluye además un procesador (mostrado esquemáticamente en 114B) configurado para producir una indicación de la posición del elemento 106 de entrada a lo largo de múltiples vueltas usando las mediciones del dispositivo de detección, como se describirá a continuación. Aunque se muestra un procesador electrónico digital en el ejemplo, se apreciará que la funcionalidad que proporciona puede realizarse mediante componentes analógicos/conjunto de circuitos adecuados.

Puede incluirse un conmutador mecánico para habilitar que se active la detección electrónica después de que se hayan empezado a mover los engranajes/elementos de detección. El conmutador puede activarse mecánica o magnéticamente y no existe, por tanto, necesidad de suministrar alimentación constante al dispositivo reduciendo potencialmente, por tanto, el consumo de energía global del dispositivo. Después del encendido, el dispositivo puede detectar cualquier movimiento que se ha producido mientras estaba apagado y usar esa medición para proporcionar una indicación de la posición. El dispositivo a modo de ejemplo incluye un conmutador "de despertador" magnético en forma de un engranaje 113 que rota cuando el tren de engranajes rota y puede usarse para activar el suministro de alimentación al dispositivo, pero se apreciará que pueden proporcionarse disposiciones alternativas.

Los elementos rotatorios en el dispositivo están configurados para rotar a diferentes velocidades. En el dispositivo 100 a modo de ejemplo esto se consigue teniendo un número diferente de dientes en todos los engranajes 104A - 104D. Sin embargo, se apreciará que puede conseguirse de diferentes maneras. Por ejemplo, proporcionando elementos rotatorios engranados mutuamente que tienen diferentes dimensiones (por ejemplo, radio o circunferencia) puede dar como resultado que los elementos tengan diferentes razones de revolución. Además, pueden usarse elementos rotatorios que no se engranan/accionan directamente los unos con los otros, por ejemplo discos, accionándose los elementos directamente mediante el elemento de entrada o conectándose juntos por medio de un elemento de accionamiento por correa o cadena, o cualquier otro mecanismo de engranaje.

El intervalo de funcionamiento del dispositivo se determinará calculando el número máximo de vueltas del primer, o "primario", elemento analizado antes de que se produzca un patrón de repetición de los elementos rotatorios, momento en el cual ya no puede determinarse la posición absoluta a partir de las posiciones individuales de los elementos. Esto puede calcularse como el número de vueltas que se requieren para rotar el dispositivo desde su posición de referencia hasta que vuelve a esta posición. Para mejorar el intervalo, pueden aumentarse las funciones mínimas de las razones de revolución.

Por ejemplo, en un caso simple en el que el dispositivo incluye dos elementos rotatorios A y B, si las razones de revolución de los dos elementos fueran 10 y 20, respectivamente, entonces estas razones tienen un factor común de 10, y de modo que puede simplificarse a una razón de 1:2. Sólo puede usarse un montaje de este tipo para dar una indicación de la posición a lo largo de dos vueltas. Sin embargo, si el engranaje B se seleccionó para tener 21 dientes en lugar de 20 entonces no habría tal factor común, y la expresión más simple quedaría como 10:21. Dada esta relación, si A va a rotarse dos veces entonces el elemento B se movería a una posición a 342,9° ( $720^\circ \times 10/21$ ) desde su posición cero. Como ambos elementos no están en sus posiciones de referencia y el dispositivo no ha vuelto a su posición de comienzo global el intervalo de este dispositivo puede calcularse como el número de veces que el elemento A debe rotar para que el elemento B esté en cero al mismo tiempo, es decir 21 vueltas. Cuando el elemento B se ha rotado exactamente 10 veces, tanto A como B estarán en cero y el dispositivo estará en su posición de comienzo global.

En una disposición de codificador absoluto de múltiples vueltas convencional existe un mecanismo de indexación mecánico entre los elementos que incrementa cada una después de una rotación definida de los elementos

anteriores, es decir, si se ha indexado un elemento un determinado número de veces entonces los elementos anteriores habrán rotado una cantidad conocida. Sin embargo, un mecanismo de indexación de este tipo no está presente en el dispositivo que proporciona la posición no escalonado que se mueve (junto con el elemento de entrada) continuamente descrito en el presente documento; sino, realizaciones del dispositivo pueden tener un mecanismo de indexación virtual, que puede tomar la forma del algoritmo decodificador descrito a continuación. Las posiciones de referencia (o de comienzo/inicial/cero) se definen para cada elemento rotatorio y estas pueden encontrarse en cualquier lugar en los 360° de rotación posible, siempre que cada elemento se mueva de tal manera que todos los elementos puedan estar en sus posiciones de referencia al mismo tiempo. Esto normalmente definirá la posición cero global del dispositivo.

Un "mecanismo de indexación virtual" de este tipo tiene el efecto de tomar mediciones de posición que parecen casi arbitrarias y que permite su decodificación para proporcionar una indicación de una posición real. En mecanismos de indexación convencionales, cada elemento se mide en secuencia, con cada uno contribuyendo una proporción de la posición que depende del mecanismo. Esta información está disponible inmediatamente a medida que se leen los elementos; sin embargo, en realizaciones del presente dispositivo puede no existir una relación tan obvia. Con el fin de decodificar la posición, cada elemento se detecta en secuencia y después se decodifica. El elemento primario debe usarse para encontrar una posición "retrocedida" del siguiente elemento rotatorio. Esta etapa de cálculo proporciona información que es directamente relevante con la posición absoluta del elemento de entrada. Para obtener la posición absoluta se miden las posiciones angulares de los elementos rotatorios y después se realiza un cálculo para encontrar la contribución a la rotación de modo que puede realizarse el siguiente cálculo, y así sucesivamente.

Haciendo referencia a la figura 3, se dan ejemplos del número de dientes en los cuatro engranajes 104A - 104D como a continuación: engranaje 104A: 22 dientes; engranaje 104B: 26 dientes; engranaje 104C: 34 dientes y engranaje 104D: 36 dientes, y así las funciones mínimas de las razones de revolución de los engranajes 104A - 104D son 11, 13, 17 y 18, respectivamente. Las razones a modo de ejemplo implican que el engranaje 104A rotará 13/11 veces la velocidad del engranaje 104B, y el engranaje 104D rotará 17/18 veces la velocidad del engranaje 104C, y así sucesivamente. Estas razones no tienen factores comunes de número entero; sin embargo, si las razones fuesen 11, 13, 15 y 18, por ejemplo, en su lugar entonces habría un factor común de 3 (para 15 y 18), que tendría un efecto en la manera en que los engranajes se mueven juntos y lo lejos que puede rotar la entrada antes de que aparezca una secuencia de posición que se repite, por tanto, se reduciría el intervalo absoluto.

Cuando se usa el primer engranaje 104A como el engranaje de medición primario, el número máximo de vueltas de ese engranaje, a partir del cual puede derivarse la posición absoluta del mecanismo, es igual al producto de las funciones mínimas de las razones de revolución de los otros engranajes 104B - 104D. Por tanto, en general, pueden usarse combinaciones de  $n$  engranajes (denominadas A, B, C, ...,  $n$ ) para determinar la posición de engranaje absoluta a lo largo de un intervalo de  $X$  vueltas. Si se usa el primer engranaje 104A como el engranaje de medición primario entonces puede determinarse el intervalo de posición absoluta del dispositivo mediante la ecuación:

$$X = B \times C \times D \dots \times n$$

donde B, C, D, ...  $n$ , son las funciones mínimas de las razones de revolución entre cada engranaje y no existe un múltiplo común entre las funciones mínimas de las razones de revolución de todos los elementos detectados. Por tanto, para el ejemplo de la figura 3,  $X = 3978$  ( $13 \times 17 \times 18$ ). En otro ejemplo, el número de dientes en los cuatro engranajes son: engranaje 104A: 7 dientes; engranaje 104B: 11 dientes; engranaje 104C: 13 dientes y engranaje 104D: 15 dientes, en cuyo caso  $X = 2145$ .

Con el fin de encontrar el número total de rotaciones del elemento 106 de entrada, cada uno de los engranajes 104A - 104D están en efecto "retrocedidos" a sus posiciones cero. Al tiempo que se hace esto, el número total de rotaciones se registra de modo que puede relacionarse con la posición de la entrada. En el dispositivo a modo de ejemplo se registra en primer lugar la rotación del primer engranaje 104A. Por tanto, registrando lo lejos que han rotado todos los engranajes en el dispositivo es posible calcular la posición de múltiples vueltas actual del elemento de entrada. Se apreciará que los engranajes no están normalmente retrocedidos físicamente; por ejemplo, puede usarse una simulación de software/firmware u otros procedimientos pensados para calcular el número de movimientos/rotaciones, o cualquier otra implementación electromecánica o electrónica de esta función.

Haciendo referencia a la figura 4, se muestra un diagrama de flujo de un método a modo de ejemplo del cálculo del número total de rotaciones. Debe usarse la notación a continuación en la siguiente descripción, denominándose los engranajes 104A - 104D como "A" - "D", respectivamente:

$\phi_A$  : posición del engranaje A

$\phi_B$  : posición del engranaje B

$\phi_C$  : posición del engranaje C

$\varphi_D$  : posición del engranaje D

5 RP : razón primaria (1:2 en el ejemplo de la figura 3, es decir, dos rotaciones de la columna de entrada = 1 rotación del engranaje A primario)

$R_A$  : razón de dientes del engranaje A (11 en el ejemplo, es decir, el número de dientes en el engranaje sin cualquier factor común)

10  $R_B$  : razón de dientes del engranaje B (13 en el ejemplo)

$R_C$  : razón de dientes del engranaje C (17 en el ejemplo)

15  $R_D$  : razón de dientes del engranaje D (18 en el ejemplo)

$\theta_{TOTAL}$  : vueltas totales del engranaje A

$\theta_A$  : vueltas del engranaje A desde el retroceso A

20  $\theta_B$  : vueltas del engranaje A desde el retroceso B

$\theta_C$  : vueltas del engranaje A desde el retroceso C

25  $\theta_D$  : vueltas del engranaje A desde el retroceso D

$X_B$  : número de ciclos cero desde B

$X_C$  : número de ciclos cero desde C

30  $X_D$  : número de ciclos cero desde D

En la etapa 402 el engranaje 104A primario está virtualmente "retrocedido" a su posición cero. El número de rotaciones requeridas para conseguir esto corresponde a su posición actual,  $\varphi_A$ , y entonces  $\theta_A = \varphi_A$ .

35 En la etapa 404 comienza el análisis relacionado con el siguiente engranaje en el dispositivo. Los engranajes se consideran en orden, comenzando con el que tiene menor número de dientes (después del engranaje A) y aumentando en orden hasta el engranaje con el mayor número de dientes, aunque puede usarse cualquier ordenación. Por tanto, en la primera iteración de estas etapas, se analizará el engranaje B. En las fórmulas mostradas en los diagramas de flujo y denominadas a continuación, la letra N se usa para referirse al engranaje  
40 "actual" que se está considerando. En la etapa 406 se calcula la posición del engranaje B. La figura 5 ilustra las etapas involucradas en este cálculo. En la etapa 502 se usan la distancia de retroceso previa y la razón de engranaje para calcular la nueva posición,  $\varphi_B$ , del engranaje B, usando la fórmula general mostrada en la figura 5, que aplicada al engranaje B se convierte en:

45 
$$\Phi_B = (\theta_A) \times (R_A / R_B)$$

$\Phi_B$  se usará con una tabla de consulta, tal como se explica a continuación, para determinar cuántos cruzamientos de secuencia cero se han producido.

50 En la etapa 504  $\Phi_B$  se convierte de modo que cae entre la posición cero y la máxima. Esta conversión es una operación de envoltura de modo que la posición se emite entre 0,0 y 360,0°. Por ejemplo, si una medición es 345,0° y las velocidades eran  $R_A = 23$  y  $R_B = 21$ , entonces  $\Phi_B$  sería  $345 \times 23 / 21 = 377,86^\circ$  y así podría envolverse restando 360° a 17,86°.  $\theta_a$  puede ser mayor de 360°.

55 Volviendo a la figura 4, en la etapa 408 el engranaje B se "retrocede" hasta su posición cero. La figura 6 detalla las etapas involucradas en esta operación. En la etapa 602 se encuentra el índice de contribución a la rotación del engranaje (es decir, cuántas veces todos los engranajes previos en la secuencia han pasado juntos por sus posiciones cero)  $X_N$  usando una tabla de consulta (que se explicará a continuación). En la etapa 604 se calcula el movimiento del engranaje (A) primario debido al retroceso del engranaje actual hasta su posición cero usando la  
60 fórmula general mostrada en la figura 6.

Volviendo a la figura 4, en la etapa 410 se realiza una comprobación para determinar si se han analizado todos los engranajes en el dispositivo. Si no es así, entonces el control vuelve a la etapa 404, en la que se realizan las etapas 406 - 408 anteriores para el engranaje C (y después el engranaje D). Si se han analizado todos los engranajes  
65 entonces el control pasa de la etapa 410 a la etapa 412, en la que se computa la rotación total de la columna de



entrada. Esto puede conseguirse calculando la posición absoluta del elemento de entrada usando la rotación del engranaje (A) primario total y la razón primaria:

$$\text{Posición} = \text{razón primaria} \times (\theta_A + \dots + \theta_N)$$

5 Ahora se describirá un ejemplo práctico haciendo referencia a las figuras 7A - 7D. La figura 7A muestra los engranajes A - D en un estado 702A dado cuando va a hacerse la medición de la posición absoluta. Tal como se explicó anteriormente, la primera etapa (etapa 402 de la figura 4) es "hacer retroceder" el engranaje A primario a cero, tal como se muestra esquemáticamente/conceptualmente en 702B (con el círculo en el disco de engranaje que indica sus posiciones actuales y todas las posiciones cero que están a 0°). Esto puede conseguirse tomando la posición actual del engranaje A y haciéndolo retroceder a cero, mientras que se registra el valor de rotación. Por ejemplo, si el engranaje A está en la posición 57,43°, hacerlo retroceder es equivalente a girarlo -57,43°. Sabiendo que el engranaje A se ha rotado conceptualmente este ángulo, es posible averiguar lo lejos habrían girado los otros engranajes basándose en las razones de engranaje.

15 A continuación, cuando el engranaje A está de nuevo en su posición cero conceptual, se calculan las posiciones del siguiente engranaje (engranaje B) basándose en las razones de engranaje y la cantidad que se ha girado conceptualmente el engranaje A. El engranaje B se hace retroceder conceptualmente de modo que ambos engranajes A y B están en sus posiciones cero, tal como se muestra esquemáticamente en 704 en la figura 7B. Esto puede involucrar varias rotaciones del engranaje B porque cuando un engranaje en el sistema se mueve, todos los engranajes rotan. Este procedimiento continúa hasta que todo el tren de engranajes vuelve conceptualmente a su posición cero.

25 Se calcula la nueva posición del engranaje B (etapa 406) puesto que el engranaje A se ha hecho retornar. Esto puede hacerse tomando el número total de rotaciones requeridas para hacer retornar el engranaje A a su posición cero, y aplicar las razones de engranaje para encontrar el cambio en el engranaje B. Puesto que este valor representa la posición rotacional, debe tratarse una vuelta completa o que pasa por cero:

$$\phi_{B(\text{Nuevo})} = \phi_{B(\text{Antiguo})} - \left( \theta_A \times \frac{R_A}{R_B} \right)$$

30 18 Este es el número de veces que el engranaje A debe rotarse de nuevo para alcanzar su posición cero al mismo tiempo que el engranaje B alcanza su posición cero (etapa 408). Este valor se registra y se añade a las rotaciones para el retroceso del engranaje A.

35 El procedimiento para hacer rodar cada engranaje subsiguiente es idéntico al del retorno del engranaje B: cada uno se basa en la posición después de hacer retroceder el engranaje previo y las razones entre los diversos engranajes. La posición del engranaje C se calcula en primer lugar a partir de las rotaciones de retroceso totales del engranaje A hasta ahora, y a partir de estas se usa la tabla de consulta para encontrar el número de veces que los engranajes previos A y B han movido por el cero al mismo tiempo. Este número se usa entonces para encontrar cuánto debe haberse rotado el primer engranaje A para tener juntos los engranajes A, B y C en sus posiciones cero (mostrado esquemáticamente en 706 en la figura 7C). Este valor de movimiento es el número de veces que los engranajes A y B han estado juntos en posiciones cero, multiplicado por las razones relativas de movimiento del engranaje B (13 en el ejemplo). Estos números resultan de la necesidad de tener juntos los engranajes A y B en sus posiciones cero; por tanto, el engranaje A debe moverse en múltiplos de 13 para mantener el engranaje B en su posición cero. Una vez que este procedimiento se completa todos los engranajes A, B y C deberían estar en cero y entonces se analiza el engranaje D:

$$\phi_C = \phi_C - \left( (\theta_A + \theta_B) \times \frac{R_A}{R_C} \right)$$

$$\theta_C = X_C \times R_B$$

50 El procedimiento para analizar el engranaje D es idéntico al del engranaje C, con la excepción de que el primer engranaje también debe moverse en múltiplos de 17 para incorporar el hecho de que el engranaje C debe permanecer en cero:

$$\theta_D = X_D \times R_B \times R_C$$

Una vez que todos los engranajes A - D se han hecho retroceder virtualmente a sus posiciones cero (mostrado esquemáticamente en 708 en la figura 7D), la etapa final es volver a mirar la rotación total del primer engranaje desde cada engranaje retrocedido y combinarlos y después referir este valor a la columna de entrada usando la razón primaria, es decir:

$$\theta_{TOTAL} = \theta_A + \theta_B + \theta_C + \theta_D$$

$$\text{Posición absoluta} = P.R. \times \theta_{TOTAL}$$

Tal como se mencionó anteriormente, pueden usarse tablas de consulta para encontrar el número de veces que los engranajes previos en el dispositivo han pasado por sus posiciones cero con el fin de computar la posición actual para un engranaje en particular. La posición "retrocedida" del engranaje que se está considerando puede compararse entonces a estas posiciones almacenadas, y la posición correspondiente usada para dar el número de secuencias cero de los engranajes previos. Se apreciará que esto es opcional y los pasos por la posición cero pueden determinarse mediante otro método matemático, o datos almacenados de otra manera. Se proporcionan tablas de consulta a modo de ejemplo para el dispositivo a modo de ejemplo de la figura 3 a continuación:

Engranaje B		Engranaje C		Engranaje D	
Posición de engranaje	X <sub>B</sub> (índice de contribución a la rotación B)	Posición de engranaje	X <sub>C</sub> (índice de contribución a la rotación C)	Posición de engranaje	X <sub>D</sub> (índice de contribución a la rotación D)
0	0	0	0	0	0
0.076923	6	0.058824	5	0.055556	1
0.153846	12	0.117647	10	0.111111	2
0.230769	5	0.176471	15	0.166667	3
0.307692	11	0.235294	3	0.222222	4
0.384615	4	0.294118	8	0.277778	5
0.461538	10	0.352941	13	0.333333	6
0.538462	3	0.411765	1	0.388889	7
0.615385	9	0.470588	6	0.444444	8
0.692308	2	0.529412	11	0.5	9
0.769231	8	0.588235	16	0.555556	10
0.846154	1	0.647059	4	0.611111	11
0.923077	7	0.705882	9	0.666667	12
		0.764706	14	0.722222	13
		0.823529	2	0.777778	14
		0.882353	7	0.833333	15
		0.941176	12	0.888889	16
				0.944444	17

La columna de la izquierda en la tabla para cada engranaje B - D muestra la posición de ese engranaje cuando el/los engranaje(s) previo(s) en la secuencia/orden (A, B y C) están todos en su(s) posición/posiciones cero. La columna de la derecha en esa tabla de engranaje muestra cuántas veces todos los engranajes previos han pasado juntos por sus posiciones cero, cuando el engranaje está en la posición correspondiente indicada en la columna izquierda. Por tanto, usando esta tabla es posible encontrar el número de posiciones cero por las que engranajes previos han pasado comparando la posición del engranaje calculada con la posición teórica, y haciendo coincidir los valores más cercanos. Es importante observar que si un engranaje está más cerca de una rotación completa, es decir 1, que del siguiente valor más grande, entonces esto se trata como una rotación completa, y por tanto, posición cero.

Las tablas de consulta pueden generarse moviendo los engranajes por sus posiciones cero y registrando la posición del engranaje para cada ciclo hasta que se repite. Esto puede hacerse, por ejemplo, realizando una simulación de

software. En detalle, calcular la sección de engranaje B de la tabla de consulta es una cuestión de moverse a través de los ciclos de cero del engranaje A, ya que este es el único engranaje que precede al engranaje B. El engranaje B tendrá 13 posiciones diferentes para cada posición cero de A antes de que se repitan; después de 13 rotaciones completas del engranaje A, ambos engranajes A y B estarán juntos en sus posiciones cero de nuevo. Un cálculo a modo de ejemplo es como a continuación:

Ciclos de cero del engranaje A = 2,

$$\phi_B = 2 \times \frac{11}{13}$$

$$\phi_B = 1,6923 \rightarrow \phi_B = 0,6923$$

En general:

$$\phi_B = \text{Ceros}_A \times \frac{R_A}{R_B}$$

Calcular la tabla para el engranaje C es similar al engranaje B; sin embargo, ahora hay 17 posiciones totales para calcular antes de que la secuencia cierre el ciclo. El ciclo de cero también debe incluir al engranaje B. La ecuación general es:

$$\phi_C = \text{Ceros}_{AB} \times \frac{R_A \times R_B}{R_C}$$

El engranaje D sigue la secuencia lógica y ahora tiene 18 posiciones únicas, y los ciclos de cero incluyen al C. La ecuación para el engranaje D es:

$$\phi_D = \text{Ceros}_{ABC} \times \frac{R_A \times R_B \times R_C}{R_D}$$

Se entenderá que los elementos rotatorios pueden analizarse en cualquier secuencia (por ejemplo, no necesariamente comenzando con el engranaje 104A). El análisis puede realizarse en cualquier orden siempre que las tablas de consulta se hayan calculado para la secuencia apropiada.

Cuando el error de medición de la medición de posiciones de engranaje individuales se hace demasiado grande, el algoritmo puede devolver un valor incorrecto. Antes de llegar a este punto, el error en el dispositivo será el error de medición del primer engranaje de medición, multiplicado por la razón primaria.

El error de pico máximo permisible del/de los dispositivo(s) de detección antes de que falle el algoritmo puede calcularse como:

$$\text{Error máximo} = \frac{180^\circ}{R_A + R_N}$$

Por tanto, para las razones de engranaje adoptadas en el ejemplo, no se requieren sensores de alta precisión. Los sensores pueden ser relativamente bastos ya que sólo tienen que cumplir el requisito de error máximo  $180^\circ / (R_A + R_N)$ . La solución de la posición es entonces sólo dependiente del primer engranaje elegido. Esto puede permitir el uso de sensores de baja precisión 'n-1' y un sensor de muy alta precisión para proporcionar un dispositivo que proporciona la posición en múltiples vueltas y una alta cuenta de vueltas con una precisión muy alta.

El cupo de error máximo del dispositivo puede encontrarse como el punto en que el elemento rotatorio con la razón más alta, y por tanto, la distancia rotacional más pequeña entre cada posición de cálculo de secuencia cero, ya no puede conocerse con confianza. Esto se producirá cuando el error total en el elemento es mayor que la distancia entre dos posiciones de secuencia cero de dos elementos anteriores dividida entre dos porque en este momento la posición "retrocedida" calculada estará más cerca de la posición de la tabla de consulta errónea.

Como una visualización de este problema, cada uno de los elementos rotatorios (con la excepción del elemento primario) puede separarse conceptualmente en segmentos. Cada uno de estos segmentos representa el intervalo de posiciones para que la posición "retrocedida" pueda considerarse que se relaciona con el número correspondiente

de secuencias cero del elemento previo, tal como se enumera en las tablas de consulta. Se muestra un elemento rotatorio a modo de ejemplo con 21 segmentos en la figura 8A, con segmentos apropiados etiquetados con el índice de contribución a la rotación correspondiente. El elemento rotatorio se muestra en su posición de referencia, en el centro exacto del segmento 0. Teóricamente, el elemento debería medirse siempre en una posición de modo que la fase de “calcular la posición” del cálculo con el retroceso de elementos previos volverá a un valor en el centro exacto de uno de los segmentos, es decir, corresponde a una posición de la tabla de consulta. Sin embargo, cuando el error provoca que esta posición calculada derive en un segmento vecino habrá un aumento significativo en el error de salida mientras que cambiará potencial y dramáticamente el número de secuencias de posición cero del elemento previo. Este error angular se ilustra en la figura 8B.

Considerando las dos mayores formas de error, error de medición y error mecánico (holgura), puede encontrarse el máximo error permisible considerando el momento en que es incorrecto el valor devuelto de la secuencias cero a partir del análisis del elemento de razón más alta. La holgura tendrá un efecto directo en la posición relativa al elemento primario; sin embargo, el error de medición afecta al resultado de dos maneras. La primera es simplemente corrompiendo el valor medido en el elemento, y la segunda es corrompiendo el valor del elemento primario, que se traduce entonces en el elemento analizado durante la primera fase de cálculo, es decir, cuando se “hace retroceder” el elemento primario. Si entonces esto es incorrecto cuando se calcula la última posición de secuencia cero del elemento previo conocida del elemento analizado, habrá una discrepancia adicional entre el cálculo a partir del valor real.

En términos matemáticos el error permisible puede expresarse como a continuación:

$$\frac{360^\circ}{2 \times R_N} > E_N + E_A \times \frac{R_A}{R_N} + B_{AN}$$

donde  $E_N$  es el error de medición del elemento que se analiza,  $N$ ,  $E_A$  es el error de medición del elemento primario, y

$B_{AN}$  es la holgura entre el elemento primario y  $N$ .  $E_N + E_A \times \frac{R_A}{R_N} + B_{AN}$  puede considerarse el error total en el dispositivo, con  $\frac{360^\circ}{2 \times R_N}$  como el límite de error. Si el error total no es menor que el límite de error para todos los elementos, entonces la decodificación no funcionará.

Otra manera en la que puede introducirse un error en el dispositivo es un retraso temporal entre la medición de cada elemento rotatorio. Esto introducirá otro término en la ecuación como a continuación:

$$\frac{360^\circ}{2 \times R_N} > E_N + E_A \times \frac{R_A}{R_N} + B_{AN} + Td_N \times v_N + Td_A \times v_A \times \frac{R_A}{R_N}$$

$$\frac{360^\circ}{2 \times R_N} > E_N + E_A \times \frac{R_A}{R_N} + B_{AN} + (Td_N + Td_A) \times v_A \times \frac{R_A}{R_N}$$

donde  $Td_N$  es el retraso temporal hasta la medición  $n$ ,  $Td_A$  es el retraso temporal hasta la medición del elemento primario,  $v_N$  es la velocidad rotacional de  $N$ , y  $v_A$  es el retraso temporal hasta la medición  $N$ . Este tipo de error puede eliminarse usando un algoritmo de lectura simétrico, mediante el cual se disponen las mediciones de cada elemento alrededor de un único punto de tiempo. Esto elimina los efectos que provocan que el algoritmo de decodificación caiga mientras cada medición es efectiva en el mismo punto de tiempo (asumiendo movimiento constante). Este método puede, sin embargo, ser susceptible todavía a un error debido a la aceleración, pero la aceleración que se requeriría para afectarlo sería extremadamente grande mientras que, en la práctica, los retardos de tiempo son muy pequeños.

En determinadas implementaciones del dispositivo existe una posibilidad de que todos los elementos rotatorios puedan no ser capaces de colocarse en la posición de referencia simultáneamente. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si no hay una manera fija de garantizar que los elementos se montan en ubicaciones relativas correctas. Existen maneras de intentar garantizar que esto no se produzca, tal como usando engranajes dentados con el número de dientes igual a la función mínima de revolución (por ejemplo, en un ejemplo de tres elementos rotatorios con razones de 10, 21 y 17) si estos fuesen engranajes dentados con 10, 21 y 17 dientes, y sensores alineados adecuadamente para la disposición de accionamiento. Esta disposición garantizaría que los elementos siempre pudieran colocarse sólo en intervalos de segmento enteros, mientras que si hubiesen 20, 42, y 34 dientes entonces sería posible colocar un engranaje fuera por medio segmento. Una posible solución a este problema es tener un procedimiento de montaje pensado para prevenir un montaje incorrecto, por ejemplo, puede usarse una estructura mecánica fijada como una guía que no permitirá un montaje inadecuado, o pueden usarse guías/formaciones, tales como 105 ó 107

mencionados anteriormente. Una solución alternativa es que la primera vez que se enciende el dispositivo, se realiza una medición y puede calcularse la disposición de los elementos rotatorios a partir de esta posición usando la fase de “retroceso” de los cálculos, y las posiciones montadas conocidas de los elementos rotatorios.

5 Para lidiar con el riesgo de que uno o más sensores fallen, pueden proporcionarse uno o más sensores redundantes, asociados con uno o más de los elementos rotatorios de modo que si un sensor en particular falla entonces puede usarse en su lugar un sensor redundante. Esto puede conseguirse, por ejemplo, con sensores de RF y magnéticos ya que los campos magnéticos y de RF penetran en una gran área. El sensor redundante puede colocarse en un lado opuesto del eje rotacional del elemento rotatorio, o puede colocarse en cualquier lugar, por ejemplo entre el sensor primario y el elemento, o detrás del sensor primario. Si esta técnica no es factible para una realización en particular entonces una alternativa es descartar las lecturas del sensor defectuoso y hacer funcionar el dispositivo a lo largo de un intervalo absoluto reducido. Usando el ejemplo de los defectos detectados en el sensor 104B de las figuras 1 y 2, el dispositivo usará las lecturas basándose en los tres elementos 104A, 104C y 104D rotatorios restantes. Esto implicará que su intervalo se reducirá; sin embargo, este puede ser suficiente para algunas aplicaciones. De este modo puede tener que generarse/usarse una nueva tabla de consulta, basándose en las relaciones entre los elementos rotatorios restantes.

En este modo de intervalo reducido puede ser necesario extender el intervalo del dispositivo a lo largo de más ciclos de los que pueden ser normalmente posibles. Con el fin de hacer esto puede usarse un contador de incrementos (por ejemplo mostrado esquemáticamente en 114C en la figura 2) para mantener la cuenta del número de veces que el sistema ha pasado por su intervalo total. En este modo de fallo, el aparato puede perder su capacidad para proporcionar de manera fiable una lectura de posición precisa cuando se restablece la alimentación si el dispositivo se ha movido una cantidad significativa (por ejemplo, más de la mitad del intervalo reducido) con la alimentación apagada.

Se muestra un ejemplo del funcionamiento del dispositivo en este intervalo reducido en la figura 9. En este modo si la cuenta de incrementos se pierde entonces la posición no se define de manera absoluta por el dispositivo. En la etapa 902 se obtiene la medición absoluta de uno de los elementos rotatorios aún en uso. En la etapa 904 se calcula la posición real del elemento añadiendo el número de vueltas del elemento, tal como registrado por el contador de incrementos, hasta el valor de medición absoluta. En la etapa 906 se realiza una comprobación para ver si la diferencia entre el valor medido actualmente y el valor medido en la iteración previa es mayor que el intervalo del dispositivo dividido entre dos. Si este no es el caso entonces el control vuelve a la etapa 902; de manera contraria en la etapa 908 se incrementa el contador y entonces el control pasa de nuevo a la etapa 902.

Debido a que todos los engranajes giran al mismo tiempo, pero a tasas únicas, puede determinarse un intervalo reducido de posiciones absolutas observando cualquier combinación de engranajes. Esto proporciona redundancia incorporada y/o la capacidad de comprobar errores de lectura. La capacidad para usar contadores de incrementos tal como se describe anteriormente puede ofrecer una velocidad de medición aumentada mientras se mide la posición de sólo un elemento en cualquier momento dado.

Una desventaja con sistemas de indexación mecánica convencionales es que si hay un defecto en uno de los elementos y no se actualiza como debería entonces esto es casi imposible de detectar. Con una disposición de movimiento continuo, como es el caso de las realizaciones del presente aparato, es relativamente simple detectar defectos. Puesto que se conocen todas las razones de movimiento, es posible detectar defectos a lo largo del curso de varias muestras en partes del dispositivo. Después de dos muestras de cada elemento rotatorio es posible diferenciar lo lejos que se ha movido cada elemento, siempre que estas muestras no se tomen después de varias rotaciones. A partir de esto es posible derivar lo lejos que ha de haberse movido cada elemento ya que todas las razones de movimiento están definidas.

Pueden usarse múltiples subconjuntos de engranajes para autocomprobación a lo largo de un intervalo reducido. En esta configuración, pueden usarse los elementos/engranajes detectados secuencialmente para verificar la precisión, y comprobar errores de lectura en el elemento detectado elegido. Además, en esta configuración, el número de vueltas que el dispositivo puede registrar es ilimitado. La capacidad de usar un único elemento detectado con un contador de incrementos ofrece la ventaja de una velocidad de medición aumentada ya que sólo un engranaje se lee en un cualquier tiempo. El dispositivo puede estar configurado también para proporcionar la opción de tomar mediciones usando todos los elementos rotatorios para confirmar la posición del elemento de entrada.

El dispositivo puede estar configurado para cambiar automáticamente a uno de los “modos de redundancia” descritos anteriormente, o puede permitir que un usuario establezca el modo.

Aumentando la resolución de unos primeros elementos elegidos (por ejemplo 104A en el ejemplo, aunque el elemento de detección elegido no tiene que ser el primer engranaje en el tren) puede aumentarse la resolución del dispositivo 100. Esto puede habilitar que se manipule la razón de entrada al sensor con el fin de obtener el equilibrio requerido entre el número final de vueltas que se requiere medirse, y la precisión necesario que se desea. El intervalo del dispositivo puede aumentarse cambiando la razón primaria que lleva al montaje del dispositivo al coste de reducir la resolución.

El dispositivo puede continuar computando la posición más allá de su intervalo absoluto; se envolverá en ese punto, pero en algunas aplicaciones en que pueda tolerarse.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato (100) adaptado para proporcionar una indicación de una posición angular de un elemento (106) de entrada a lo largo de múltiples vueltas, incluyendo el aparato:

un conjunto de elementos (104) rotatorios configurados, en uso, para rotar según una rotación de un elemento (106) de entrada;

un conjunto de dispositivos (114A) de detección configurados para medir y emitir una posición angular de al menos uno de los elementos rotatorios en el conjunto de elementos rotatorios, y

un dispositivo (114) configurado para usar las medidas de posición angular a partir del conjunto de dispositivos de detección para producir una indicación de una posición angular del elemento de entrada a lo largo de múltiples vueltas;

en el que los elementos rotatorios están configurados para rotar simultáneamente pero a diferentes velocidades; y

en el que cada elemento rotatorio en el conjunto (104) tiene una razón de revolución con respecto a otro(s) elemento(s) rotatorio(s) en el conjunto (104), estando los elementos rotatorios dispuestos de modo que no existe un factor común aparte de uno entre las funciones mínimas de las razones de revolución;

caracterizado porque el conjunto de elementos rotatorios comprende al menos tres dichos elementos rotatorios, y el conjunto de dispositivos (114A) de detección comprende al menos tres dichos dispositivos de detección, estando cada sensor configurado para medir la posición de un único dicho elemento (104) rotatorio; y

en el que, si uno o más de los dispositivos de detección y/o elementos rotatorios desarrollan un defecto, el aparato está adaptado para descartar la(s) lectura(s) defectuosa(s) para dicho sensor y/o elemento(s) rotatorio(s), y para determinar un intervalo reducido de posiciones absolutas que usa lecturas para cualquier combinación de los elementos rotatorios restantes.

2. Aparato según la reivindicación 1 en el que los elementos (104) rotatorios comprenden engranajes teniendo cada uno un número diferente o único de dientes.

3. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en el que los elementos rotatorios restantes se analizan o combinan en cualquier secuencia, permitiendo que se manipule como se requiera el intervalo y la precisión de las posiciones absolutas.

4. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en el que se genera o se usa una tabla de consulta basándose en las relaciones entre los elementos rotatorios restantes para calcular la posición absoluta de cada uno de los elementos rotatorios restantes.

5. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un dispositivo (114A) de detección en el conjunto de dispositivos de detección proporciona una medida de posición absoluta a lo largo de los 360° de uno de los elementos rotatorios (104A-104D).

6. Aparato según la reivindicación 5, en el que el al menos un dispositivo (114A) de detección usa tecnología de detección óptica, magnética o de RF.

7. Aparato según la reivindicación 5, en el que el aparato incluye de A a N de dichos elementos (104A-104D) rotatorios, cada uno teniendo una función mínima respectiva de la razón de revolución,  $R_A$  a  $R_N$ , y en el que un dicho dispositivo (114A) de detección tiene una precisión de modo que se satisface un error de pico permisible máximo en el dispositivo de detección mediante:

$$\text{Error máximo} = \frac{180^\circ}{R_A + R_N} .$$

8. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos (104A-104D) rotatorios están dispuestos en una de una manera coplanaria y una manera coaxial.

9. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que no se proporciona alimentación constante al aparato, y en el que al menos un dispositivo (114A) de detección en el conjunto de dispositivos de detección está adaptado para medir posiciones de los elementos (104) rotatorios que resultan a partir del movimiento que tuvo lugar mientras que no se proporcionaba alimentación al aparato.

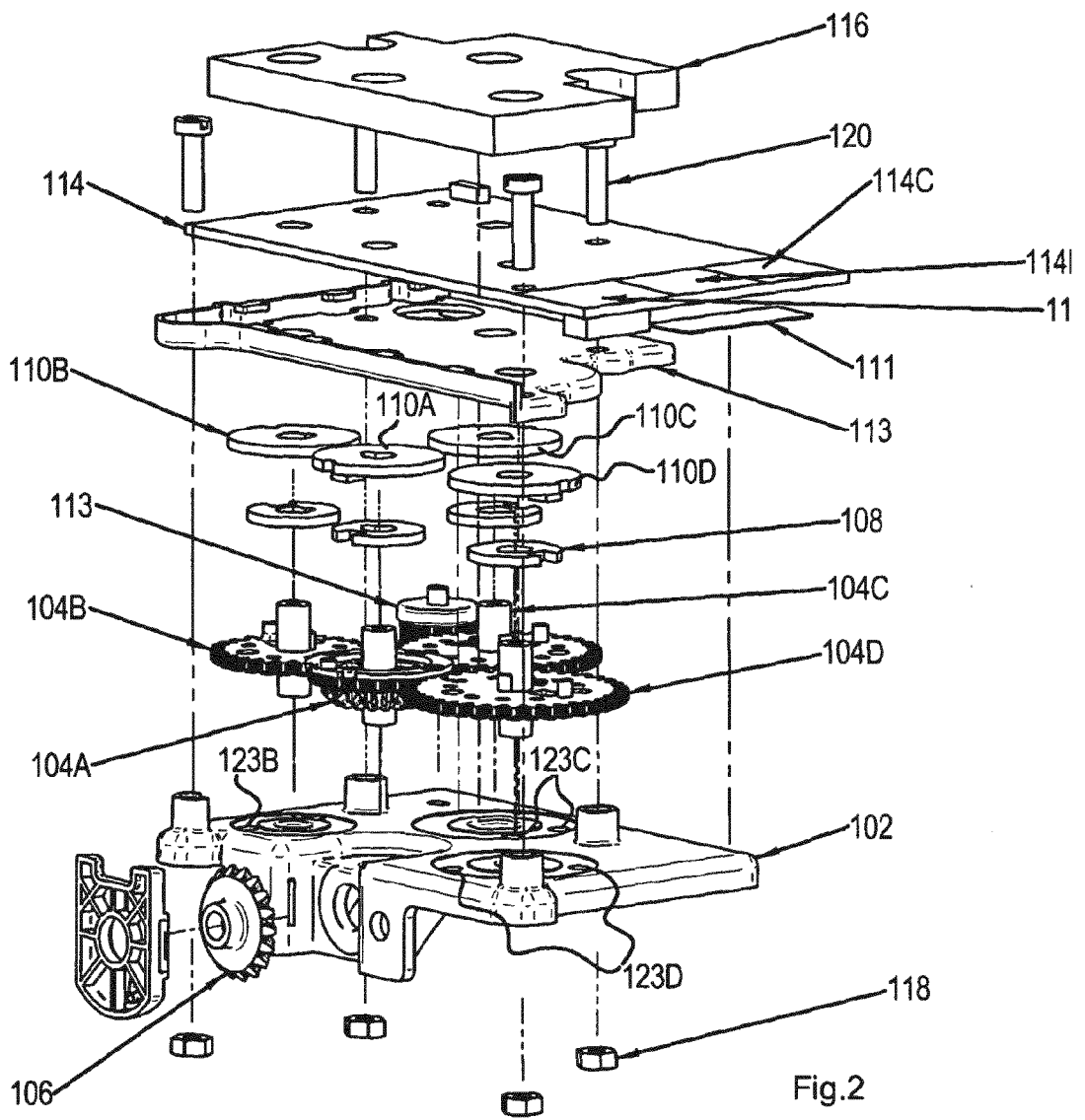
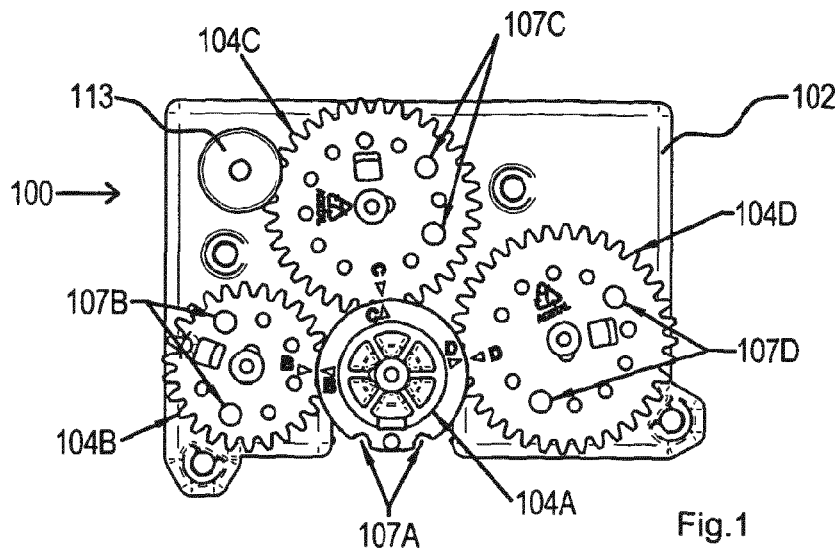
10. Aparato según la reivindicación 9, que incluye una disposición (113) de conmutador para habilitar al menos un dispositivo (114A) de detección en el conjunto de dispositivos de detección para que se active cuando el/los elemento(s) (104) rotatorio(s) se mueve(n).

5

11. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en el que el conjunto de dispositivos (114A) de detección comprende más de un dicho dispositivo (114A) de detección que se proporciona para medir la posición de un único elemento (104) rotatorio, de modo que si uno de los dispositivos de detección en el conjunto desarrolla un defecto entonces se usa en su lugar otro dicho dispositivo de detección en el conjunto.

10





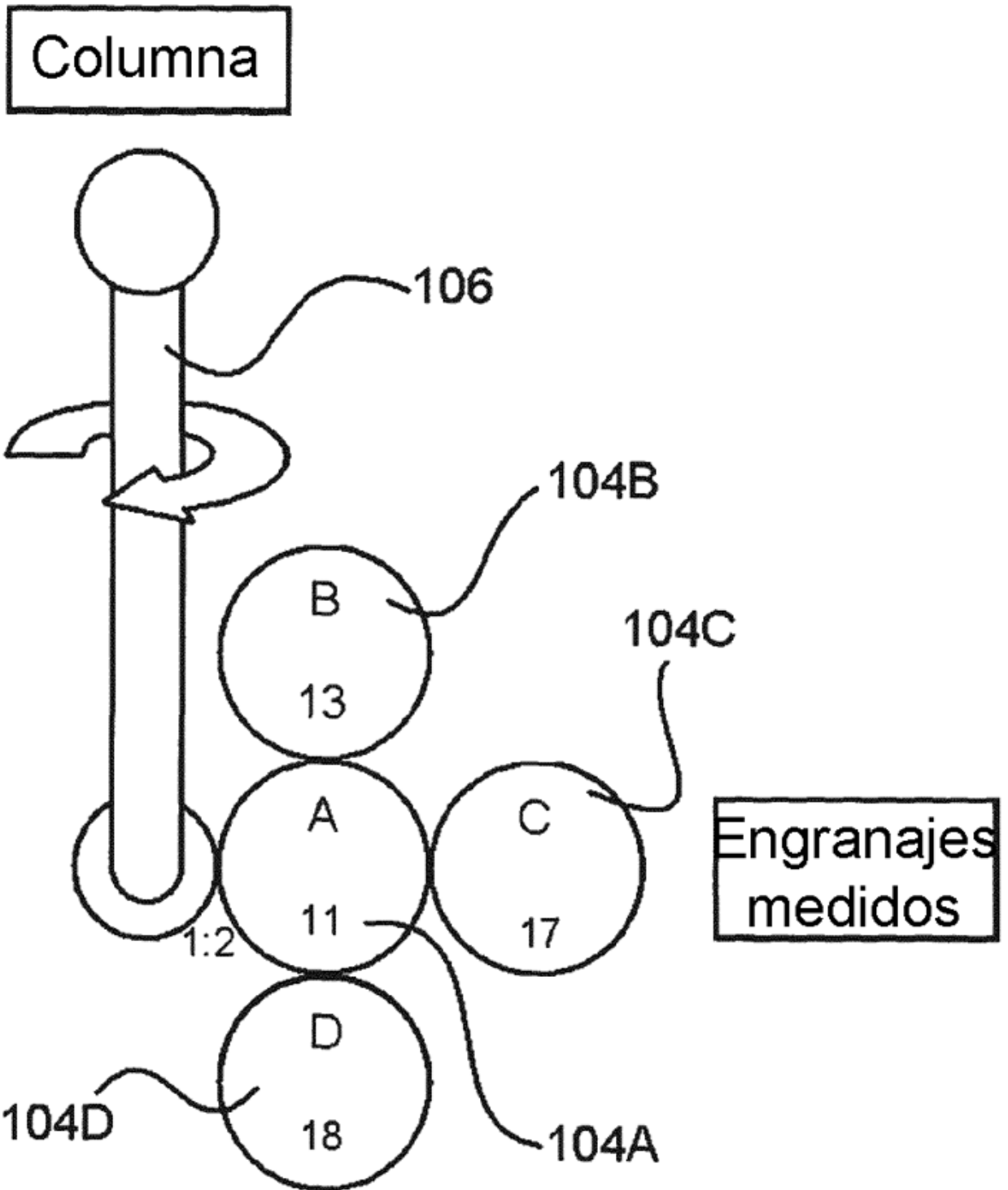


Fig. 3

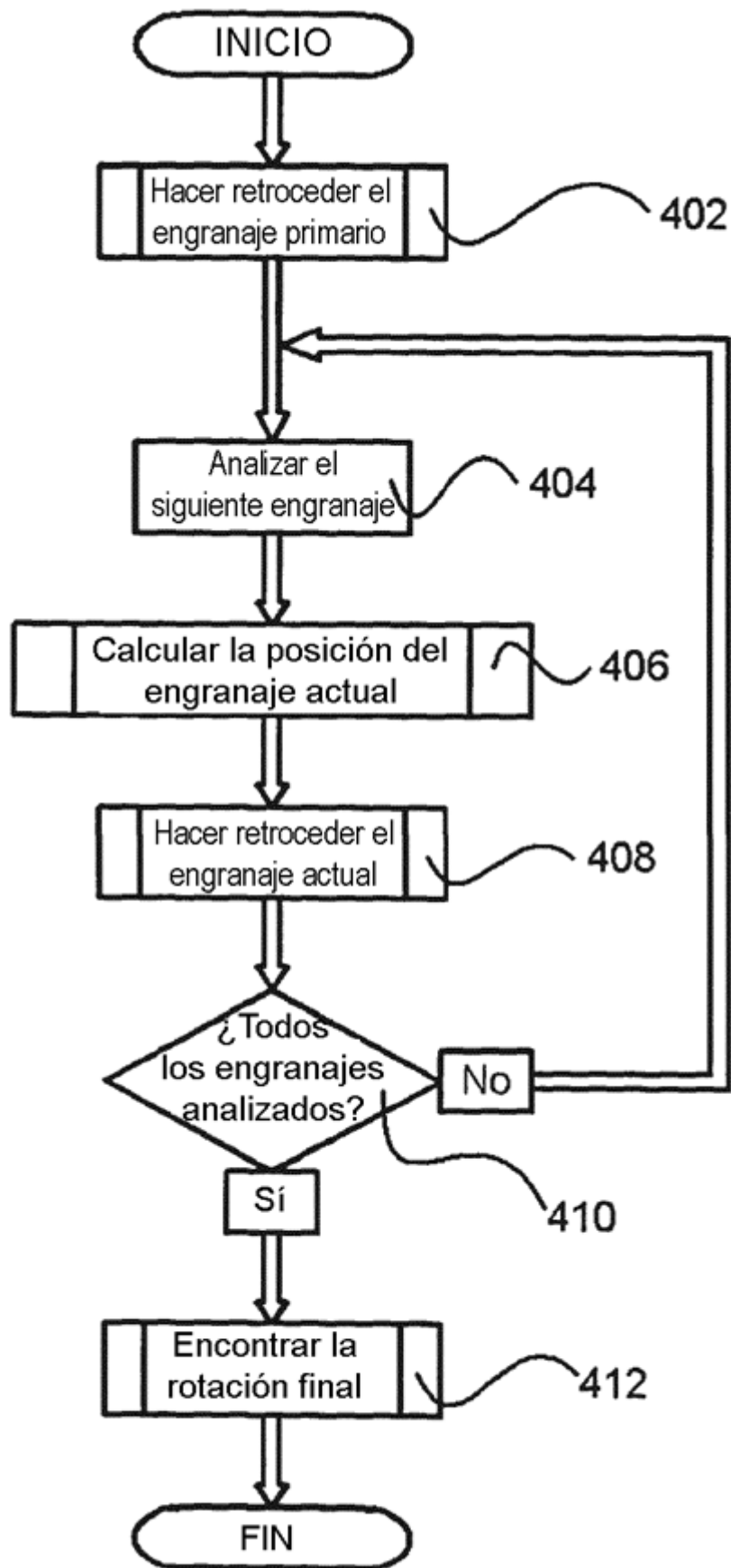


Fig. 4

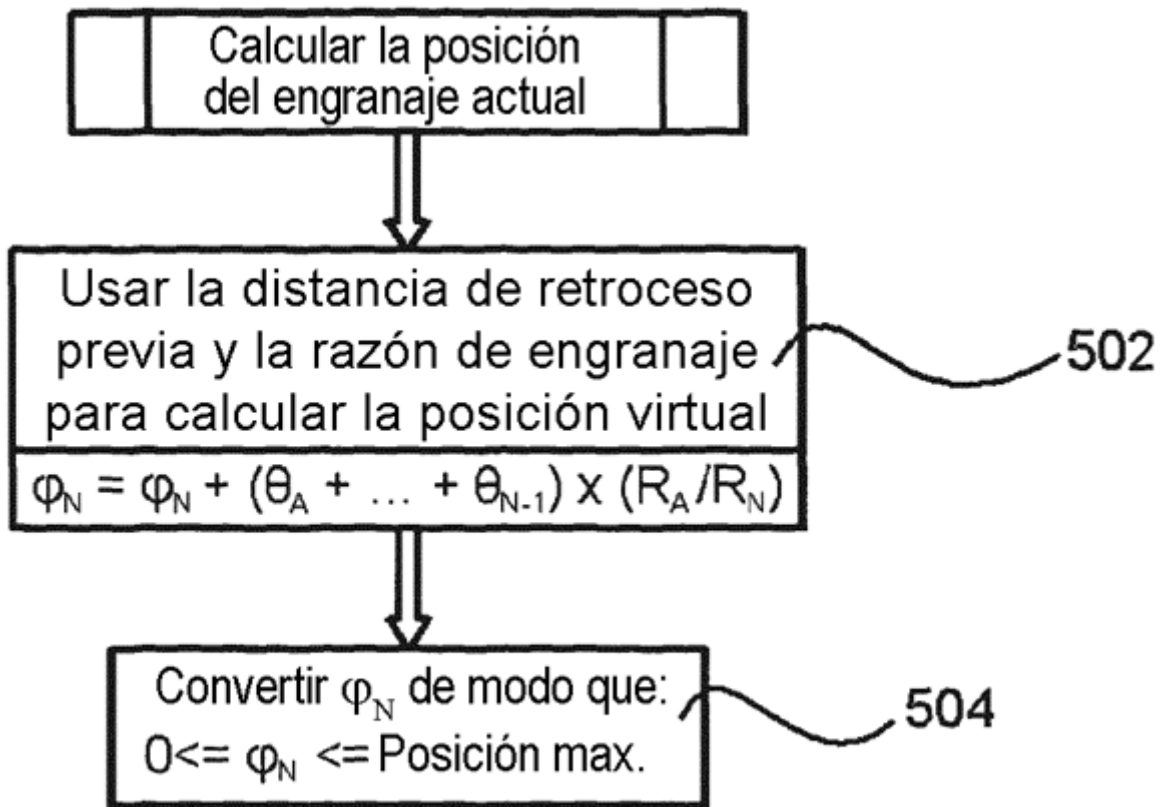


Fig. 5

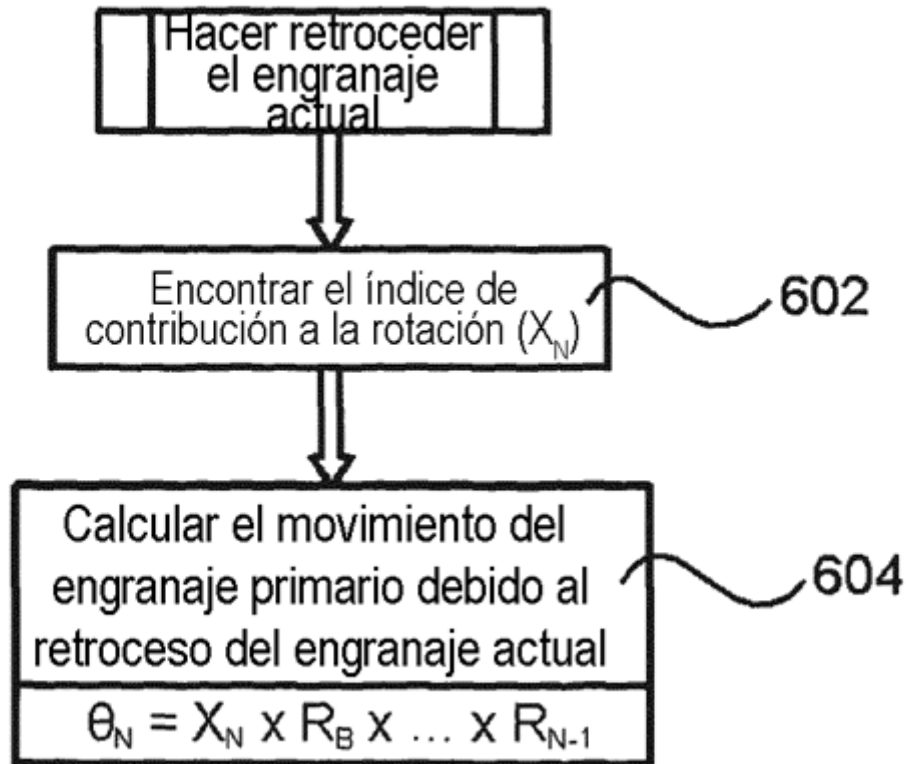
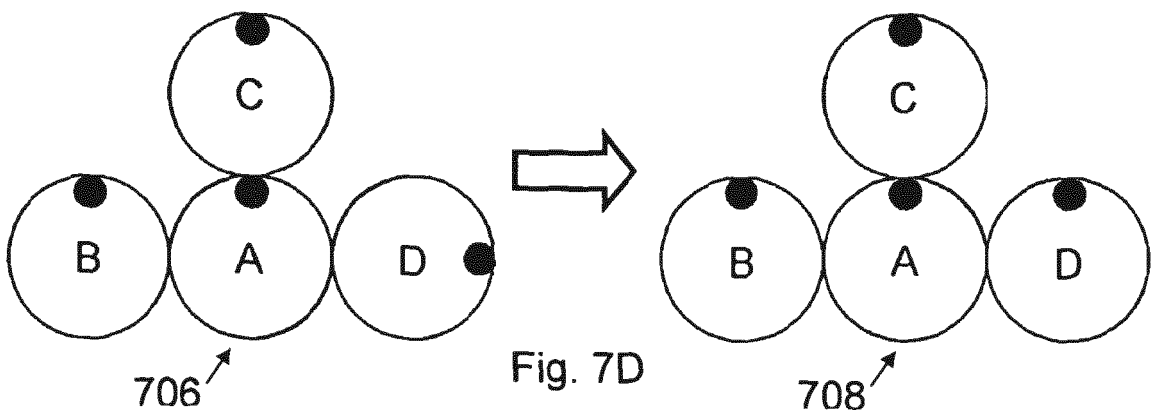
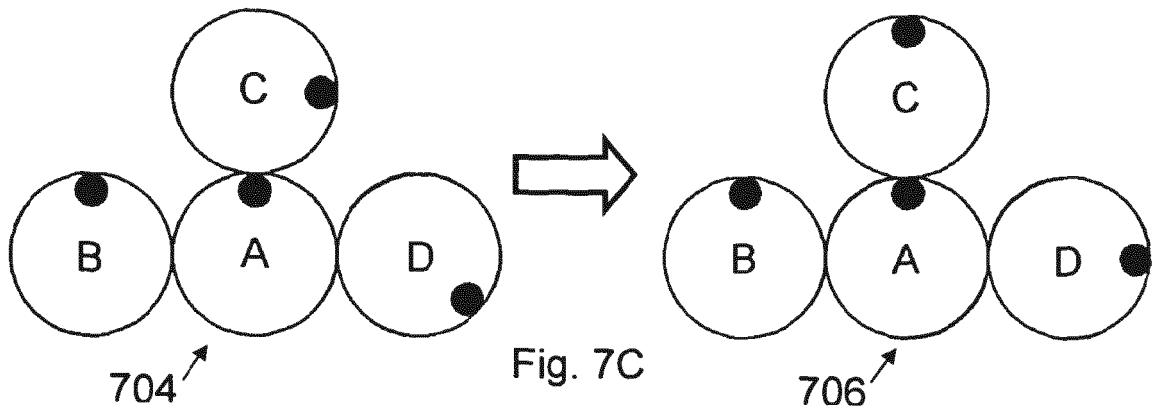
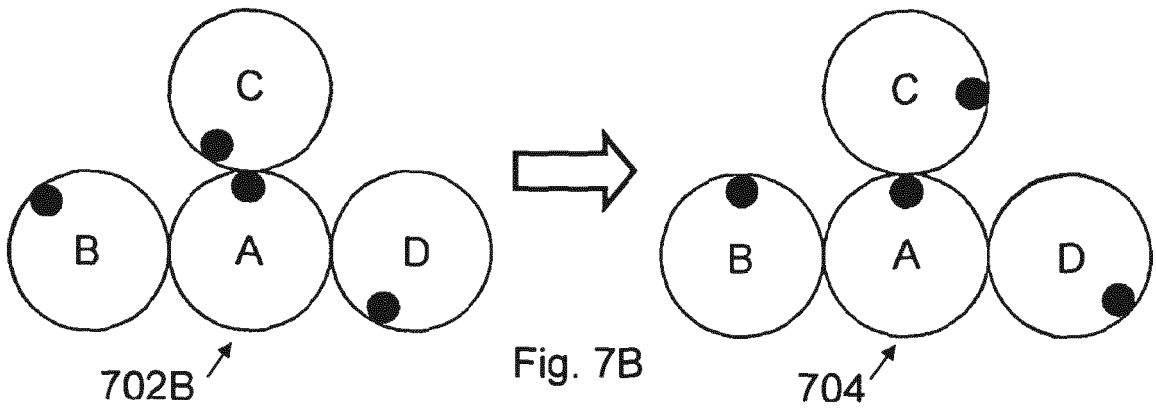
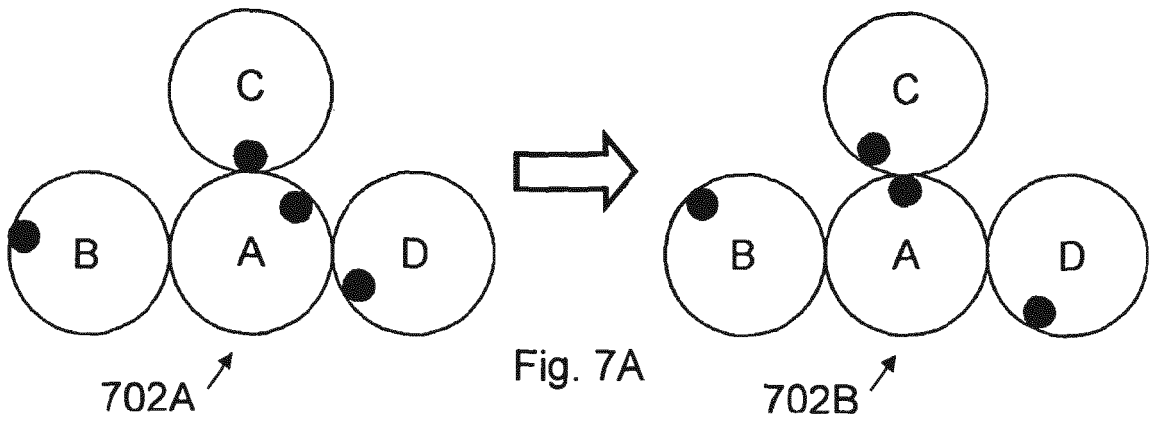


Fig. 6



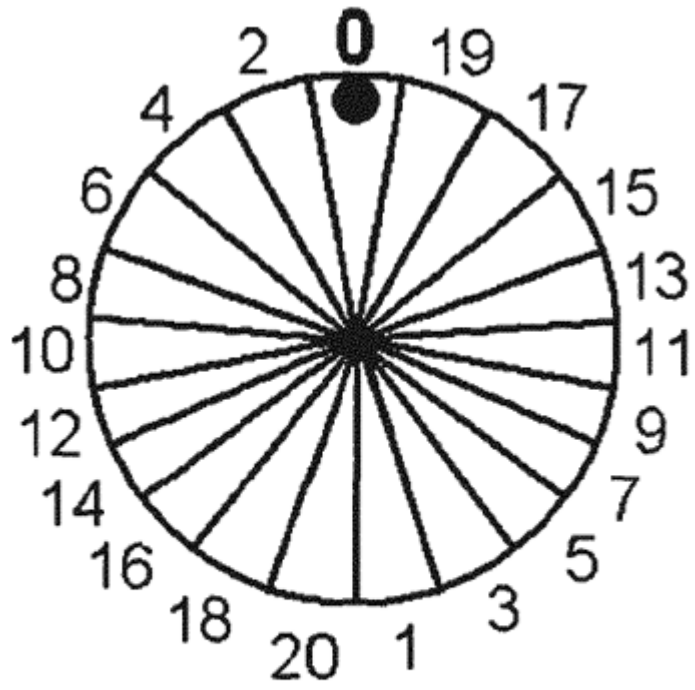


Fig. 8A

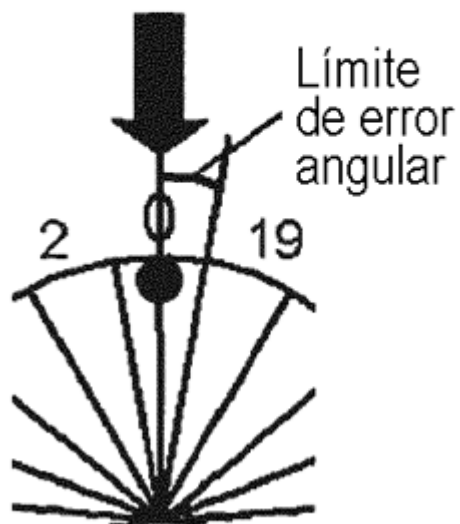


Fig. 8B

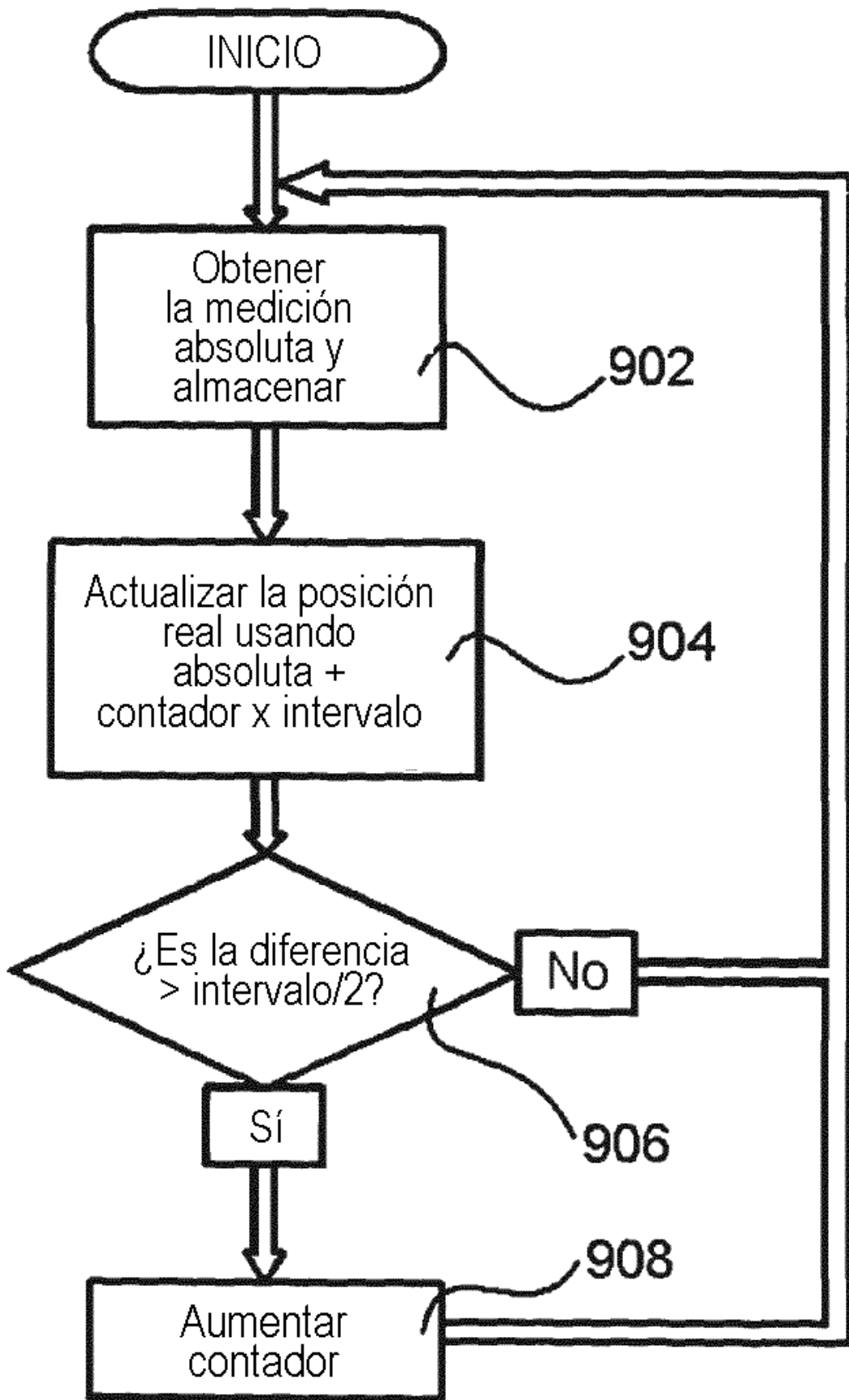


Fig. 9