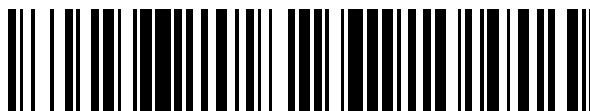


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 578**

51 Int. Cl.:

G01D 5/245 (2006.01)

G01B 5/24 (2006.01)

G01B 7/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2012 E 16170594 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 3081906**

54 Título: **Dispositivo para detectar ángulos de rotación absolutos de rotación múltiple, y método para detectar los mismos**

30 Prioridad:

07.01.2011 JP 2011002454

11.05.2011 JP 2011106368

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

07.05.2018

73 Titular/es:

ORIENTAL MOTOR CO., LTD. (100.0%)

21-11 Kojima 2-chome Taito-ku

Tokyo 111-0056, JP

72 Inventor/es:

HOUDA, AKIHIKO

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 666 578 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

Dispositivo para detectar ángulos de rotación absolutos de rotación múltiple, y método para detectar los mismos

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo para detectar un ángulo de rotación de un árbol giratorio y, más particularmente, a un dispositivo de detección de ángulo de rotación que puede detectar un ángulo de rotación absoluto de un árbol giratorio sobre rotación múltiple sin medios, tal como una copia de seguridad basada en
10 batería.

Antecedentes de la invención

Un dispositivo de detección de ángulo de rotación, por ejemplo, detecta un ángulo de rotación de un árbol giratorio de un motor y controla la posición de un cuerpo móvil de una máquina herramienta o similar que se acciona mediante el motor de acuerdo con un valor detectado del ángulo de rotación. Para controlar la posición del cuerpo móvil con alta precisión en un amplio intervalo, el dispositivo de detección de ángulo de rotación es deseablemente capaz de detectar el árbol giratorio del motor como un ángulo de rotación absoluto sobre rotación múltiple.

Como un dispositivo de detección de ángulo de rotación de este tipo, la patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2010-44055 (correspondiente a la solicitud de patente US n.º 12/168151) divulga un codificador inductivo de rotación múltiple. El codificador inductivo de rotación múltiple 10 incluye discos circulares dentados 41 a 46 conectados en serie y en múltiples etapas y realiza la detección de un ángulo de rotación múltiple mediante detección de ángulos de rotación de los discos 42, 44 y 46. Un intervalo de un ángulo de rotación múltiple que puede ser detectado por el codificador de rotación múltiple inductivo descrito en la literatura de la técnica anterior se determina mediante una relación de reducción del disco 46 en la etapa final en un árbol giratorio de entrada. Un árbol giratorio 20 como el árbol giratorio de entrada está conectado mecánicamente al disco circular 41 con una relación de reducción de engranaje de 1:4. Los siguientes discos circulares dentados 41" y 42, 42" y 43, 43" y 44, 44" y 45, y 45" y 46 están conectados mecánicamente con relaciones de reducción de engranaje respectivas de 1:4. Haciendo tales reducciones de engranaje de 1:4 en seis etapas, el codificador de rotación múltiple 10 puede obtener un alcance de detección de rotación múltiple de hasta 4096 revoluciones. Un codificador de rotación múltiple similar se conoce además a partir del documento US5457371.

Documento de la técnica relacionada

35 **Referencias de patentes**

Referencia de patente 1: Patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2010-440558
Referencia de patente 2: Patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2002-107178
40 Referencia de patente 3: Patente japonesa n.º 3967963
Referencia de patente 4: Publicación de patente japonesa n.º 05/-38243

Referencia no de patente

45 Literatura no de patentes 1: Yasukazu Hayashi y otros cuatro, "Development of High Resolution and Compact Absolute Rotary Encoder with Batteryless Multi-turn Detecting Function", Diario de la sociedad japonesa de ingeniería de precisión, 2000, vol. 66, n.º 8, páginas 1177-1180.

Sumario de la invención

50 **Problemas a resolver por la invención**

El codificador inductivo de rotación múltiple descrito anteriormente obtiene un ángulo de rotación de rotación múltiple directamente a partir de un ángulo de rotación de un disco circular a una velocidad reducida. Para establecer un intervalo de detección de varias vueltas para que sea ancho, debe aumentarse una relación de reducción. Como resultado, este codificador inductivo de rotación múltiple sufre de los problemas de aumento de la complejidad mecánica y de tamaño y aumento del coste.

Para remediar los problemas, el codificador introducido en "Development of High Resolution and Compact Absolute Rotary Encoder with Batteryless Multi-turn Detecting Function" (Diario de la sociedad japonesa de ingeniería de precisión, 2000, vol. 66, n.º 8, páginas 1177-1180) y el solucionador divulgado en la patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2002-107178, cada uno incluye respectivos detectores angulares para detectar ángulos de rotación de árboles giratorios conectados en paralelo a un árbol de entrada giratorio con diferentes relaciones de cambio y detectar una posición absoluta de rotación múltiple sobre la base de piezas de información del ángulo de rotación obtenidas a partir de los detectores de ángulo.

En un método que obtiene información de múltiple rotación a partir de la relación entre ángulos de rotación de una pluralidad de árboles conectados en paralelo con diferentes relaciones de cambio, sin embargo, se determina generalmente un intervalo de detección de un ángulo de rotación múltiple mediante el múltiplo menos común de señales periódicas obtenidas mediante el procesamiento de las señales detectadas de ángulo de los árboles. Un método para detectar un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple tal como se describe en las literaturas de la técnica anterior necesita seleccionar una relación de cambio igual a la relación entre números relativamente primos entre sí para establecer un intervalo de detección de ángulo de rotación múltiple que sea amplio, que resulta en el problema del aumentar el número de tipos de engranajes. Además, la flexibilidad en el diseño de un ángulo de detección de ángulo de rotación múltiple está restringida debido al número limitado de números relativamente primos entre sí. Además, varios intervalos de detección de ángulo de rotación múltiple se ajustan a otras aplicaciones, y es inconveniente que el extremo superior de un intervalo de detección de ángulo de rotación múltiple practicable se limite a un valor especial, tal como el múltiplo menos común de valores relativamente primos entre sí. Además, el método descrito anteriormente sufre del problema de la complejidad de cálculo en el momento de obtener una posición absoluta de rotación múltiple a partir de piezas de información de ángulo de rotación de los ejes.

Para hacer frente al problema de la complejidad del cálculo para obtener una posición absoluta de rotación múltiple, la patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2002-107178 divulga un método de detección de la posición absoluta que almacena una tabla (figura 9) que muestra la relación entre los valores obtenidos de los ángulos de rotación de los árboles giratorios respectivos y el número de revoluciones de un árbol giratorio principal de antemano en una memoria y selecciona, a partir de la tabla, el número de revoluciones del árbol giratorio principal correspondiente a valores obtenidos a partir de ángulos de rotación de los árboles giratorios. Sin embargo, para establecer un intervalo de detección de rotación múltiple para ser ancho, se consume mucha memoria correspondiente al intervalo de detección de rotación múltiple (0 a 20357), lo cual es problemático.

La patente japonesa n.º 3967963 divulga un método de cálculo que ahorra memoria almacenando resultados de cálculo para solo uno de dos períodos en una memoria. Sin embargo, este método tiene el mismo problema con el uso de memoria que el problema del método de detección descrito anteriormente.

En cuanto a un método de cálculo para obtener un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple, la publicación de patente japonesa n.º 05-38243 crea una expresión relacional de los valores detectados a partir de una pluralidad de detectores de ángulo con respecto a un ángulo de rotación del árbol y busca un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple usando un programa que determina un ángulo de rotación del árbol que satisface simultáneamente los valores detectados de los árboles mediante sustitución secuencial. Si el intervalo de detección de rotación múltiple es amplio, aumenta el número de combinaciones entre las que se realiza la búsqueda, lo que provoca el problema de cálculo que consume tiempo.

Medios para resolver el problema

La invención de acuerdo con la reivindicación 1 de la presente solicitud se ha realizado para resolver los problemas anteriormente descritos y se aplica a un dispositivo de detección de ángulos de rotación absolutos de rotación múltiple que incluye un mecanismo de transmisión adaptado para transmitir la revolución desde un primer árbol giratorio del primer al nmax-ésimo árboles giratorios, en el que un ángulo de rotación θ_n del n-ésimo árbol giratorio cumple la relación con un ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio:

[Expresión 1]

$$\theta_n = \left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1$$

y un detector de ángulo adaptado para detectar ángulos de rotación respectivos del primer árbol giratorio al n-ésimo árbol giratorio. En lo anterior, nmax y m son números enteros no inferiores a 3, y n está dentro del intervalo $1 \leq n \leq nmax$.

En la invención de acuerdo con la reivindicación 9, el coeficiente R_{n-2} anterior se determina de manera que un valor de ángulo corregido p_n' dado por una fórmula a continuación se aproxima de manera más estrecha a un valor de ángulo detectado p_n de un n-ésimo árbol giratorio, y se obtiene un valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$.

[Expresión 7]

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \left(p_1 + \sum_{i=2}^n (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u\right), u\right)$$

Los valores de un coeficiente R_0 a un coeficiente $R_{n_{\max}-2}$ se determinan secuencialmente repitiendo, para un valor numérico $n = 2$ a $n_{\max}$, el cálculo de la fórmula de cálculo de valor corregido de ángulo anterior.

Los coeficientes determinados R_0 a $R_{n_{\max}-2}$ se sustituyen en una fórmula de cálculo del ángulo de rotación:

[Expresión 8]

$$\theta_{1(m^{n_{\max}-1})}' = p_1 + \sum_{i=2}^{n_{\max}} (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u$$

para obtener un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple calculado $\theta_{1(m^{n_{\max}-1})}'$ de un primer árbol giratorio. En lo anterior, los coeficientes R_0 a $R_{n_{\max}-2}$ son números enteros que van de 0 a $m-1$ inclusive, u es una cantidad unitaria de base, y un valor corregido del ángulo p_1' es un valor detectado de ángulo p_1 del primer árbol giratorio.

En la invención de acuerdo con la reivindicación 10, el coeficiente R_{n-2} se puede obtener determinando un entero que se aproxima más estrechamente a un resultado de calcular:

[Expresión 9]

$$\text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') \times \frac{m}{u}, m)$$

El coeficiente R_{n-2} puede obtenerse calculando:

[Expresión 10]

$$R_{n-2} = \text{INT}(\text{mod}(\pm(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') \times \frac{m}{u} + 0,5, m))$$

INT(x) es una operación que elimina una parte fraccionaria de un valor numérico x.

En la invención de acuerdo con la reivindicación 11, el mecanismo de transmisión descrito anteriormente se proporciona para cada uno de una pluralidad de sistemas, se obtienen señales periódicas y valores corregidos del ángulo a partir de los sistemas, y se calcula un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple. En particular, m se establece de manera que los periodos de las señales periódicas son relativamente principales entre sí.

Ventajas de la invención

De acuerdo con la presente invención, se forma un mecanismo de transmisión con una única relación de cambio entre cada dos árboles giratorios adyacentes (por ejemplo, se forman dos tipos de engranajes, unos con m dientes y unos con $m \pm 1$ dientes). El intercambio de componentes es así fácil. Si se van a formar integralmente componentes, se puede diseñar un mecanismo de transmisión utilizando un tipo de componente.

En la presente invención, el extremo superior de un intervalo de detección de rotación múltiple no está limitado al múltiplo menos común de una pluralidad de valores, y el intervalo de detección puede diseñarse arbitrariamente. Por ejemplo, la presente invención puede alcanzar fácilmente un intervalo de detección de rotación múltiple de hasta m^{n-1}/N . Por consiguiente, se puede diseñar fácilmente un alcance de detección de rotación múltiple de hasta 2^n o 10^n o un intervalo de detección de rotación múltiple adaptado a una aplicación diferente.

Dado que se puede obtener un intervalo de detección de rotación múltiple solo mediante una operación de suma de producto de los valores detectados, el procesamiento del cálculo se puede realizar fácilmente a alta velocidad. La presente invención es también ventajosa porque la presente invención no necesita almacenar valores detectados de árboles giratorios y resultados de cálculo en una tabla y ahorra memoria.

De acuerdo con la presente invención, incluso si se incluyen errores en valores detectados a partir de detectores de ángulo, se pueden reducir los errores de detección generados en los detectores de ángulo y calcular un valor calculado de ángulo de rotación de rotación múltiple de alta precisión. En particular, en el cálculo pueden eliminarse los errores de detección generados en los detectores de ángulo unidos a los segundos árboles giratorios posteriores y un error total puede mantenerse dentro de un error de detección generado en un primer árbol giratorio. Como resultado, incluso si se expande un intervalo de detección de ángulo de rotación de rotación múltiple aumentando el número de árboles giratorios, se puede mantener un error en un valor calculado de ángulo de rotación de rotación múltiple calculado dentro de un error de detección en el primer árbol giratorio.

La precisión requerida para un detector de ángulo de acuerdo con la presente invención solo necesita ser suficiente para determinar un coeficiente Rn^{-2} . Dado que la precisión puede ser inferior a un caso en el que se obtiene un ángulo de rotación múltiple calculando directamente valores detectados de los árboles, se puede reducir el coste de un dispositivo de detección de ángulos de rotación múltiple.

Puesto que un dispositivo de detección de ángulos de rotación múltiple que utiliza la presente invención no requiere un cambio de velocidad con una relación de números relativamente primos, el número de tipos de engranajes utilizados es pequeño. Además, se puede diseñar libremente un intervalo de detección de ángulo de rotación múltiple. Por otra parte, la referencia de la memoria es innecesaria para el cálculo del período de rotación múltiple, que evita el consumo de mucha memoria que causa el aumento en el coste de componentes de memoria y el aumento del tamaño.

Se describirán realizaciones de la presente invención a continuación con referencia a los dibujos. Los dibujos y descripciones correspondientes a los dibujos son meras ilustraciones para realizar la presente invención, y no se pretende que las invenciones reivindicadas estén limitadas a las realizaciones. La presente invención se interpreta solamente sobre la base de los términos definidos en las reivindicaciones, y los términos se interpretan de acuerdo con sus interpretaciones comunes.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de configuración de un mecanismo de transmisión de un dispositivo de detección de ángulos de rotación para explicar el principio de obtener un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

La figura 2 es una vista de configuración de un dispositivo de detección de ángulos de rotación para detectar un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple que es la primera realización de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de bloques de un dispositivo de detección de ángulos de rotación para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de un árbol giratorio de motor en la primera realización de la presente invención.

La figura 4 es un gráfico que muestra las relaciones entre el número de revoluciones de un primer árbol giratorio y del primer al cuarto ángulos en la primera realización de la presente invención.

La figura 5 es un gráfico que muestra las relaciones entre el número de revoluciones del primer árbol giratorio y los valores detectados p_1 , p_2 , p_3 y p_4 de los árboles respectivos en la primera realización de la presente invención.

La figura 6 es un gráfico que muestra las relaciones de las señales periódicas con el número de revoluciones del primer árbol giratorio en la primera realización de la presente invención.

La figura 7 es un gráfico que muestra la relación entre un ángulo de rotación de un primer árbol giratorio y ángulos de rotación de árboles respectivos en una segunda realización de la presente invención.

La figura 8 muestra los valores detectados de ángulo emitidos desde los detectores de ángulo de los árboles respectivos con respecto al ángulo de rotación del primer árbol giratorio en la segunda realización de la presente invención.

La figura 9 es un gráfico que muestra las relaciones de las señales periódicas con el ángulo de rotación del primer árbol giratorio en la segunda realización de la presente invención.

La figura 10 es un gráfico que muestra las relaciones entre el ángulo de rotación del primer árbol giratorio y los coeficientes R_0 a R_2 en la segunda realización de la presente invención.

La figura 11 es un gráfico para explicar la configuración de una parte entera de un valor calculado del ángulo de rotación del primer árbol giratorio en la segunda realización de la presente invención.

La figura 12 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento para el cálculo del procesamiento del valor calculado del ángulo de rotación del primer árbol giratorio en la segunda realización de la presente invención.

La figura 13 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento para el cálculo del procesamiento de un valor calculado del ángulo de rotación de un primer árbol giratorio en una tercera realización de la presente invención.

La figura 14 es un diagrama de bloques de configuración de un mecanismo de transmisión de un dispositivo de detección de ángulos de rotación para explicar el principio de obtener un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de acuerdo con una cuarta realización de la presente invención.

La figura 15 es un diagrama de bloques del dispositivo de detección de ángulos de rotación para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de un árbol giratorio de motor en la cuarta realización de la presente invención.

La figura 16 es un gráfico que muestra las relaciones entre el número de revoluciones de un primer árbol giratorio y del segundo al cuarto ángulos de rotación en la cuarta realización de la presente invención.

La figura 17 es un gráfico que muestra las relaciones entre el número de revoluciones del primer árbol giratorio y los valores detectados p_1 , p_2 , y p_3 de los árboles respectivos en la cuarta realización de la presente invención.

La figura 18 es un gráfico que muestra las relaciones de las señales periódicas con el número de revoluciones del primer árbol giratorio en la cuarta realización de la presente invención.

La figura 19 es un diagrama de bloques de configuración de un mecanismo de transmisión de un dispositivo de detección de ángulos de rotación de acuerdo con una quinta realización de la presente invención.

Realizaciones de la invención

El principio de obtener un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de acuerdo con una primera realización de la presente invención se describirá con referencia a la figura 1. En un diagrama de bloques de configuración mostrado en la figura 1 de un mecanismo de transmisión 10 de un dispositivo de detección de ángulos de rotación, un primer árbol giratorio 11 que está acoplado a un árbol de salida del motor está conectado a un detector de ángulo S1 que detecta un valor detectado de ángulo p_1 indicando un ángulo dentro de una revolución que corresponde a un ángulo de rotación θ_1 que cubre un ángulo de rotación múltiple del primer árbol giratorio 11. De forma similar, los detectores de ángulo S2 a Sn detectan respectivos valores detectados de ángulo p_2 a p_n indicando ángulos dentro de una revolución que corresponden a ángulos de rotación θ_2 a θ_n que cubren un ángulo de rotación múltiple del segundo a n-ésimo árboles giratorios 12 a 15. Los engranajes que tienen m-1 (o m+1) dientes y engranajes que tienen m dientes están fijados al primer a n-ésimo árboles giratorios 11 a 15, y un engranaje 11a del primer árbol giratorio 11 está engranado con un engranaje 12b del segundo árbol giratorio 12. Un engranaje 12a que está fijado al segundo árbol giratorio 12 está engranado con un engranaje 13b del tercer árbol giratorio 13. De esta manera, el mecanismo de transmisión 10 forma un mecanismo de engranaje en el cual un engranaje que tiene m-1 (o m+1) dientes engrana con un engranaje que tiene m dientes entre árboles giratorios adyacentes.

Realizaciones de la presente invención se describirán utilizando un mecanismo de engranaje como un mecanismo de transmisión. Un mecanismo de transmisión según la presente invención, sin embargo, no está limitado a engranajes, y ejemplos del mecanismo de transmisión incluyen todos los elementos que pueden transmitir fuerza de rotación de un árbol giratorio. En el mecanismo de engranaje dispuesto de la manera anteriormente descrita, se calcula un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple del primer árbol giratorio 11 calculando las fórmulas de cálculo a continuación usando los valores detectados de ángulo p_1 a p_n del primer a n-ésimo árboles giratorios 11 a 15 detectados por los detectores de ángulo S2 a Sn.

Se supone un caso en el que los engranajes que tienen m-1 dientes están engranados con engranajes correspondientes que tienen m dientes en el primero a n-ésimo árboles giratorios 11 a 15 en la figura 1. En este caso, una relación de cambio de engranaje se representa mediante $(m-1)/m$. En el mecanismo de engranajes con el primer a n-ésimo árboles giratorios 11 a 15 dispuestos en serie en este orden, cada par de engranajes engranados juntos tiene la relación de engranaje de cambio idéntica de $(m-1)/m$. Por consiguiente, dejando que θ_1 sea el ángulo de rotación del primer árbol giratorio 11, el ángulo de rotación θ_n del n-ésimo árbol giratorio 15 está representado por la Fórmula (1).

[Expresión 11]

$$\begin{aligned}\theta_n &= \left(-\frac{m-1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1 \\ &= \left(-1 + \frac{1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1\end{aligned}\quad (1)$$

Obsérvese que, como para un signo menos antes de la parte $(m-1)/m$ en la Fórmula (1), un sentido de rotación del primer árbol giratorio 11 se expresa como un más (positivo) mientras que un sentido de rotación inversa a la dirección de revolución del primer árbol giratorio 11 se expresa como un menos (negativo).

Suponiendo que el mecanismo de transmisión mostrado en la figura 1 es un mecanismo de engranajes que está formado a partir del primer árbol giratorio hasta el cuarto árbol giratorio y que θ_1 es el ángulo de rotación del primer árbol giratorio acoplado al árbol de salida del motor, el ángulo de rotación θ_2 del segundo árbol giratorio, el ángulo de rotación θ_3 del tercer árbol giratorio y el ángulo de rotación θ_4 del cuarto árbol giratorio se obtienen a partir de la Fórmula (1) de las maneras respectivas a continuación.

[Expresión 12]

$$\theta_1 = \left(-1 + \frac{1}{m}\right)^0 \times \theta_1 = 1 \times \theta_1 \quad (2)$$

[Expresión 13]

$$\theta_2 = \left(-1 + \frac{1}{m}\right)^1 \times \theta_1 = \left(-1 + \frac{1}{m}\right) \times \theta_1 \quad (3)$$

[Expresión 14]

$$\theta_3 = \left(-1 + \frac{1}{m}\right)^2 \times \theta_1 = \left(1 - \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1 \quad (4)$$

5 [Expresión 15]

$$\theta_4 = \left(-1 + \frac{1}{m}\right)^3 \times \theta_1 = \left(-1 + \frac{3}{m} - \frac{3}{m^2} + \frac{1}{m^3}\right) \times \theta_1 \quad (5)$$

10 Los detectores de ángulo S1 a Sn son detectores que detectan los ángulos de rotación (por ejemplo, valores detectados que representan 0(°) a 360(°)) del primer a n-ésimo árboles giratorios 11 a 15. Si el n-ésimo árbol giratorio gira mediante θ_n , el valor detectado del ángulo p_n del detector de ángulo Sn puede expresarse mediante la Fórmula (6).

[Expresión 16]

$$15 \quad p_n = \text{mod}(\theta_n, u) \quad (6)$$

La fórmula $y = \text{mod}(x, a)$ se define generalmente como una operación de módulo que calcula un resto y que queda cuando x se divide por a. Es decir, si el ángulo de rotación de uno de los árboles giratorios se mide en grados (°), u que es un valor numérico (cantidad unitaria base) que representa un ángulo de rotación para un ciclo es 360°, el valor detectado p_n exhibe un valor de 0 a 360(°) de acuerdo con el ángulo de rotación. Por ejemplo, si el ángulo de rotación θ_n es 90(°) o 510(°), el valor detectado p_n es 90(°) o 150(°). Obsérvese que si un ángulo de rotación θ es -1(°), un valor detectado p no se trata como -1(°), sino como 359(°). Cualquier unidad puede ser adoptada siempre que el ángulo de rotación θ_n y u se expresen en la unidad. Por ejemplo, si la cantidad unitaria es 1 (revolución), el valor detectado p_n exhibe un valor de 0 a 1 según el ángulo de rotación.

25 Los valores detectados a partir de los detectores de ángulo se describirán adicionalmente. Los detectores de ángulo S1 a Sn que detectan los ángulos de rotación del primero a n-ésimo árboles giratorios 11 a 15 emiten cada uno un valor detectado para un ciclo cuando el árbol giratorio correspondiente gira una vez. Por ejemplo, dejando que, u sea una cantidad unitaria para un ciclo, los detectores de ángulo S1 a Sn emiten cada uno una señal detectada de forma de diente de sierra cuyo valor detectado aumenta monótonicamente desde 0 a u según el ángulo de rotación del árbol giratorio y vuelve a 0 cuando el árbol giratorio gira una vez. La unidad de la cantidad unitaria u es un valor numérico que representa un ángulo de rotación por ciclo. Como se ha descrito anteriormente, puede utilizarse cualquier unidad siempre que la unidad sea la misma que la unidad de un ángulo de rotación.

35 Si los ángulos de rotación θ_1 a θ_4 representados por las Fórmulas (2) a (5) se sustituyen en la Fórmula (6), los valores de ángulo p_1 a p_4 detectados a partir de los detectores de ángulo S1 a Sn se calculan a partir del ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio mediante las Fórmulas (7) a (10).

[Expresión 17]

$$40 \quad p_1 = \text{mod}(\theta_1, u) \quad (7)$$

[Expresión 18]

$$45 \quad p_2 = \text{mod}\left(\left(-1 + \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, u\right) \quad (8)$$

[Expresión 19]

$$p_3 = \text{mod}\left(\left(1 - \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1, u\right) \quad (9)$$

50 [Expresión 20]

$$p_4 = \text{mod}\left(\left(-1 + \frac{3}{m} - \frac{3}{m^2} + \frac{1}{m^3}\right) \times \theta_1, u\right) \quad (10)$$

55 Asumiendo una señal periódica cuyo ciclo corresponde a m revoluciones del primer árbol giratorio, una fórmula de módulo que representa la señal periódica $S(m^1)$ puede expresarse como:

[Expresión 21]

$$S_{(m^1)} = \text{mod}\left(\frac{1}{m} \times \theta_1, u\right)$$

- 5 A partir de la relación $\text{mod}(a+b,u) = \text{mod}(\text{mod}(a,u)+\text{mod}(b,u),u)$, la fórmula del módulo que representa la señal periódica $S(m^1)$ puede deformarse de la manera como en la Fórmula (11) utilizando el valor detectado del ángulo p_1 del primer árbol giratorio y el valor detectado del ángulo p_2 del segundo árbol giratorio.

[Expresión 22]

10

$$\begin{aligned} S_{(m^1)} &= \text{mod}\left(\frac{1}{m} \times \theta_1, u\right) \\ &= \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, u) + \text{mod}\left((-1 + \frac{1}{m}) \times \theta_1, u\right), u) \\ &= \text{mod}(p_1 + p_2, u) \end{aligned} \quad (11)$$

Asumiendo una señal periódica cuyo ciclo corresponde a m^2 revoluciones del primer árbol giratorio, una fórmula de módulo que representa la señal periódica $S(m^2)$ puede expresarse como:

15

[Expresión 23]

$$S_{(m^2)} = \text{mod}\left(\frac{1}{m^2} \times \theta_1, u\right)$$

- 20 La fórmula de módulo que representa la señal periódica $S(m^2)$ se puede deformar de la manera como en la Fórmula (12) utilizando los valores detectados del ángulo p_1 , p_2 y p_3 del primer a tercer árboles giratorios.
[Expresión 24]

$$\begin{aligned} S_{(m^2)} &= \text{mod}\left(\frac{1}{m^2} \times \theta_1, u\right) \\ &= \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, u) + 2 \times \text{mod}\left((-1 + \frac{1}{m}) \times \theta_1, u\right) \\ &\quad + \text{mod}\left((1 - \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}) \times \theta_1, u\right), u) \\ &= \text{mod}(p_1 + 2p_2 + p_3, u) \end{aligned} \quad (12)$$

25

Asumiendo una señal periódica cuyo ciclo corresponde a m^3 revoluciones del primer árbol giratorio, una fórmula de módulo que representa la señal periódica $S(m^3)$ puede expresarse como:

[Expresión 25]

30

$$S_{(m^3)} = \text{mod}\left(\frac{1}{m^3} \times \theta_1, u\right)$$

La fórmula de módulo que representa la señal periódica $S(m^3)$ se puede deformar de la manera como en la Fórmula (13) utilizando los valores detectados del ángulo p_1 , p_2 , p_3 y p_4 del primer a cuarto árboles giratorios.

35

[Expresión 26]

$$\begin{aligned}
 S_{(m^3)} &= \text{mod}\left(\frac{1}{m^3} \times \theta_1, u\right) \\
 &= \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, u) + 3 \times \text{mod}\left((-1 + \frac{1}{m}) \times \theta_1, u\right) \\
 &\quad + 3 \times \text{mod}\left((1 - \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}) \times \theta_1, u\right) \\
 &\quad + \text{mod}\left((-1 + \frac{3}{m} - \frac{3}{m^2} + \frac{1}{m^3}) \times \theta_1, u\right), u) \\
 &= \text{mod}(p_1 + 3p_2 + 3p_3 + p_4, u)
 \end{aligned} \tag{13}$$

- 5 Asumiendo una señal periódica cuyo ciclo corresponde a m^{n-1} revoluciones del primer árbol giratorio, una fórmula de módulo que representa la señal periódica puede expresarse en general como:

[Expresión 27]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{m^{n-1}} \times \theta_1, u\right)$$

Por deducción de las Fórmulas (11) a (13), la señal periódica $S(m^{n-1})$ puede representarse como fórmula de cálculo de señal periódica en la Fórmula (14). En la Fórmula (14), n es el número de árboles giratorios.

[Expresión 28]

$$\begin{aligned}
 S_{(m^{n-1})} &= \text{mod}\left(\left(\frac{1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1, u\right) \\
 &= \text{mod}((k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2 + \dots + k_n \times p_n), u)
 \end{aligned} \tag{14}$$

donde $k_1, k_2, \dots, k_n$ corresponden a coeficientes de la expansión de $(x+1)^{n-1}$. Es decir, $(x+1)^{n-1}$ se expande a $k_1 \times x^0 + k_2 \times x^1 + \dots + k_n \times x^{n-1}$ de acuerdo con el teorema binomial.

Por consiguiente, se calcula un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple calculado $\theta_1(m^{n-1})$ del primer árbol giratorio multiplicando la señal periódica en la Fórmula (14) por m^{n-1} y se representa como la Fórmula (15).

[Expresión 29]

$$\theta_{1(m^{n-1})} = \text{mod}((k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2 + \dots + k_n \times p_n), u) \times m^{n-1} \tag{15}$$

Como se muestra en la Fórmula (15), el valor calculado del ángulo de rotación de rotación múltiple $q_1(m^{n-1})$ del primer árbol se puede obtener sustituyendo los valores detectados p_1 a p_n de los detectores de ángulo de los árboles giratorios respectivos. En la Fórmula (15), n es el número de árbol a tener en cuenta. Si el número n de árboles se establece en $n_{\max}$, se calcula un ángulo de rotación absoluta de rotación múltiple calculado $\theta_c = \theta_1(m^{n_{\max}-1})$.

Obsérvese que, aunque los cálculos descritos anteriormente se dirigen a un mecanismo de engranajes con una relación de cambio de engranaje de $(m-1)/m$, la presente invención también puede aplicarse a un mecanismo de engranajes con una relación de cambio de engranaje de $(m+1)/m$. Es posible distinguir entre un caso con una relación de cambio de $(m-1)/m$ y un caso con una relación de cambio de engranaje de $(m+1)/m$ introduciendo un término de ajuste de signo para las funciones periódicas descritas anteriormente de la manera (que se describirá más adelante).

Las funciones periódicas para un mecanismo de engranajes con una relación de cambio de engranaje de $(m+1)/m$ se obtienen de la manera anteriormente descrita. Las funciones periódicas obtenidas son como se muestra a continuación. Es decir, el valor p_n detectado del ángulo del n-ésimo árbol giratorio se representa como sigue.

[Expresión 30]

$$p_n = \text{mod}\left(\left(-\frac{m+1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1, u\right)$$

- 5 Por consiguiente, los valores detectados del ángulo p_1 a p_4 del primer a cuarto árboles giratorios se obtienen de la manera siguiente.

[Expresión 31]

$$p_1 = \text{mod}(\theta_1, u)$$

$$p_2 = \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, u\right)$$

$$p_3 = \text{mod}\left(\left(1 + \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1, u\right)$$

$$p_4 = \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{3}{m} - \frac{3}{m^2} - \frac{1}{m^3}\right) \times \theta_1, u\right)$$

10

Las funciones periódicas $S(m^1)$ a $S(m^3)$ se obtienen como sigue.

[Expresión 32]

15

$$S_{(m^1)} = \text{mod}\left(\frac{1}{m} \times \theta_1, u\right)$$

$$= \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, u) + \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, u\right) \times (-1), u)$$

$$= \text{mod}(p_1 + p_2 \times (-1), u)$$

Puesto que un resultado del cálculo de $p_1 + p_2$ es $-(1/m)$ en la fórmula anterior, $p_1 + p_2$ se multiplica por -1 .

20

[Expresión 33]

$$S_{(m^2)} = \text{mod}\left(\frac{1}{m^2} \times \theta_1, u\right)$$

$$= \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, u) + 2 \times \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, u\right)$$

$$+ \text{mod}\left(\left(1 + \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1, u\right), u)$$

$$= \text{mod}(p_1 + 2p_2 + p_3, u)$$

[Expresión 34]

$$\begin{aligned}
S_{(m^3)} &= \text{mod}\left(\frac{1}{m^3} \times \theta_1, u\right) \\
&= \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, u) + 3 \times \text{mod}\left((-1 - \frac{1}{m}) \times \theta_1, u\right) \\
&\quad + 3 \times \text{mod}\left((1 + \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}) \times \theta_1, u\right) \\
&\quad + \text{mod}\left((-1 - \frac{3}{m} - \frac{3}{m^2} - \frac{1}{m^3}) \times \theta_1, u\right) \times (-1), u) \\
&= \text{mod}((p_1 + 3p_2 + 3p_3 + p_4) \times (-1), u)
\end{aligned}$$

5 Puesto que un resultado del cálculo de $p_1+3p_2+3p_3+p_4$ es $-(1/m^3)$ en la fórmula anterior, $p_1+3p_2+3p_3+p_4$ se multiplica por -1. Como se ha descrito anteriormente, si la relación de cambio es $(m+1)/m$, cuando n es un número par, el resultado de un cálculo en una fórmula de módulo es negativo, y un término de ajuste de signo Jn^{-1} ($J = -1$) se introduce en una función periódica. Es decir, la función periódica $S(m^{n-1})$ se representa como en la siguiente fórmula.

10 [Expresión 35]

$$S_{(m^{n-1})} = \text{mod}((k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2 + \dots + k_n \times p_n) \times J^{n-1}, u)$$

15 En la fórmula anterior, J es 1 si la relación de cambio entre árboles giratorios adyacentes es $-(m-1)/m$ y es -1 si la relación de cambio es $-(m+1)/m$.

20 Por ejemplo, asumiendo aquí un caso en el que el número de árboles giratorios es 4, el número m de dientes es 32 (el número de dientes en un árbol giratorio de accionamiento es $m-1$, mientras que el número de dientes en un árbol giratorio accionado es m), y la cantidad unitaria u es 131072 (u corresponde a una resolución de 17 bits ($= 2^{17}$) del valor detectado del ángulo p_1 a partir del detector de ángulo S1) en el mecanismo de engranaje mostrado en la figura 1, Fórmula (14) se da por:

[Expresión 36]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{32^3} \times \theta_1, 131072\right) = \text{mod}(p_1 + 3p_2 + 3p_3 + p_4, 131072)$$

25

Se obtiene un valor calculado del ángulo de rotación θ_1 (m^3) del primer árbol giratorio mediante la Fórmula (16).
[Expresión 37]

$$\theta_{1(m^3)} = \text{mod}((p_1 + 3p_2 + 3p_3 + p_4), 131072) \times 32768 \quad (16)$$

30

Por consiguiente, detectando los valores p_1 a p_4 detectados de la rotación que representan los ángulos de rotación del primer a cuarto árboles giratorios, la detección del ángulo de rotación múltiple del primer árbol giratorio cuyo ciclo corresponde a 32768 ($= 32_3$) revoluciones puede realizarse con una resolución de 131072 sobre la base de la Fórmula (15) anterior.

35

A continuación, se describen en detalle realizaciones que detectan un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple basándose en el principio descrito anteriormente.

40 Realización 1

La figura 2 es una vista de configuración de un dispositivo de detección de ángulos de rotación 20 para detectar un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple que es la primera realización de la presente invención. A un primer árbol giratorio 23 que está dispuesto en el lado opuesto a un árbol giratorio de salida (no mostrado) de un servomotor 21, se acopla un codificador absoluto óptico 22 y se fija un engranaje 23a que tiene 31 dientes. El engranaje 23a está engranado con un engranaje 24b que está fijado a un segundo árbol giratorio 24 y tiene 32

45

dientes. Un engranaje 24a que está fijado al segundo árbol giratorio 24 y tiene 31 dientes está engranado con un engranaje 25b que está fijado a un tercer árbol giratorio 25 y tiene 32 dientes. Un engranaje 25a que está fijado al tercer árbol giratorio 25 y tiene 31 dientes está engranado con un engranaje 26b que está fijado a un cuarto árbol giratorio 26 y tiene 32 dientes. Los engranajes 24a y 24b, los engranajes 25a y 25b, y los engranajes 26a y 26b son cada uno engranajes de resina formados integralmente de la misma forma y pueden formarse integralmente con el árbol giratorio correspondiente. Como se ha descrito anteriormente, el dispositivo de detección de ángulo de rotación 20 tiene una estructura en la que la rotación del servomotor 21 se transmite desde el primer árbol giratorio 23 al cuarto árbol giratorio 26 por medio de un mecanismo de engranaje conectado en serie.

El codificador absoluto óptico 22 detecta un ángulo absoluto θ_1 dentro de una revolución del primer árbol giratorio 23 con una resolución de 17 bits ($2^{17} = 131072$ p/rev). El codificador absoluto óptico 22 está conectado eléctricamente a un circuito de procesamiento de señal 28 que está montado en una placa impresa 27 y un valor detectado del ángulo p_1 que es una pieza de información del ángulo de rotación del primer árbol giratorio 23 detectado por el codificador absoluto óptico 22 es enviado al circuito de procesamiento de señal 28.

Los imanes 29a, 29b y 29c que están magnetizados para tener dos polos en las mismas direcciones que las direcciones radiales de los engranajes 24a, 25a y 26a están unidos a los extremos de los árboles, respectivamente del segundo al cuarto árboles giratorios 24, 25, y 26 y giran con la revolución del árbol. Los sensores 30a, 30b y 30c del ángulo de rotación MR que utilizan elementos MR están montados en posiciones enfrentadas a los imanes 29a, 29b y 29c en la placa 27. El sensor MR 30a, 30b o 30c emite dos tensiones sinusoidales que están desfasadas 90° entre sí durante un ciclo cuando el imán 29a, 29b o 29c gira una sola vez. Las tensiones detectadas que son detectadas por los sensores MR 30a, 30b y 30c se envían al circuito de procesamiento de señal 28.

Una estructura de resina 32 que se forma usando un espaciador 31 sujeta el segundo a cuarto árboles giratorios 24 a 26 descritos anteriormente. Aunque los árboles giratorios primero a cuarto 23 a 26 mostrados en la figura 2 se mantienen en una disposición lineal en la estructura 32, por motivos de simplicidad de descripción, los ejes centrales del primer a cuarto árboles giratorios 23 a 26 pueden estar dispuestos en una línea curva para la utilización efectiva del espacio en la estructura 32.

La figura 3 muestra un diagrama de bloques de un dispositivo de detección de ángulo de rotación 30 para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple θ_c del servomotor 21. En la figura 3, elementos iguales o similares a los elementos mostrados en la figura 2 se indican con los mismos números de referencia.

Haciendo referencia a la figura 3, un valor detectado p_1 que representa un ángulo de rotación para un ciclo del primer árbol giratorio 23 que es un árbol giratorio del servomotor 21 se detecta mediante el codificador 22 y se envía a un puerto de comunicación 34 dentro del circuito de procesamiento de señal 28 a través de una línea de señal 33. El valor detectado p_1 que sale del codificador 22 tiene una resolución de 17 bits. El valor detectado p_1 recibido por el puerto de comunicación 34 se envía además a un circuito de cálculo de rotación múltiple 35 para calcular un ángulo absoluto del primer árbol giratorio 23.

La revolución del primer árbol giratorio 23 se transmite al segundo a cuarto árboles giratorios 24 a 26 mediante el mecanismo de engranaje. Por lo que respecta a los ángulos de rotación θ_1 a θ_4 del primer al cuarto árboles giratorios 23 a 26, por ejemplo, si m es 32, y un ángulo de rotación se representa como el número de revoluciones, las relaciones entre el número de revoluciones del primer árbol giratorio y el primer a cuarto ángulos de rotación θ_1 a θ_4 son como se muestra en la figura 4. La abscisa de la figura 4 representa el número de revoluciones del primer árbol giratorio, mientras que la ordenada representa los ángulos de rotación θ_1 a θ_4 de los árboles respectivos. Cada signo menos en la ordenada indica que una dirección de rotación del árbol es inversa a la del primer árbol giratorio. Por ejemplo, si el número de revoluciones del primer árbol giratorio es 32, θ_2 es -31 en el segundo árbol giratorio. Esto muestra que el segundo árbol giratorio gira 31 veces en una dirección inversa a la del primer árbol giratorio. Las relaciones son como se muestra en las Fórmulas (2) a (5).

Haciendo referencia de nuevo a la figura 3, los ángulos de rotación del primer a cuarto árboles giratorios 23 a 26 son detectados por los detectores de ángulo de elemento MR 30a, 30b y 30c, respectivamente, y dos tensiones detectadas sinusoidales (un componente seno y un componente coseno) 90° fuera de fase entre sí se envían a un convertidor AD 37 a través de cada una de las líneas de señal 33a, 33b y 33c. Las dos tensiones detectadas se convierten de valores analógicos a, por ejemplo, valores digitales de 12 bits mediante el convertidor AD 37 y se envían a un circuito de cálculo de conversión RD 38. El circuito de cálculo de conversión RD 38 calcula un ángulo a partir de los dos valores digitales recibidos (el componente seno y el componente coseno). Aunque el ángulo tiene una resolución de 12 bits, se obtienen los valores p_2 , p_3 y p_4 detectados del ángulo que han sido extendidos a 17 bits para adaptarse a la resolución del valor p_1 detectado del ángulo del codificador 22. Más específicamente, se obtiene un valor detectado de ángulo de 17 bits añadiendo 5 bits de 0 al extremo de orden inferior de 12 bits. Obsérvese que, puesto que las tensiones detectadas de los detectores de ángulo de elementos MR 30a, 30b y 30c incluyen errores debidos a la variación entre los propios elementos MR y diversos factores tales como magnetismo, circuitos y precisión de la máquina, las tensiones detectadas no se convierten en ángulos sin ningún cambio, sino que están sometidas a corrección de desplazamiento de la señal de tensión y corrección de la amplitud y diversos tipos de corrección de precisión, tales como corrección de errores de un ángulo de rotación real y la corrección relacionada

con los valores detectados de los árboles giratorios respectivos. Los valores detectados de ángulo p_2 , p_3 y p_4 sometidos a los procesos son enviados al circuito de cálculo de rotación múltiple 35. La figura 5 muestra el cambio en cada uno de los valores p_1 a p_4 detectados del ángulo obtenidos de la manera descrita anteriormente con cambio en el número de revoluciones del primer árbol giratorio. Obsérvese que dado que los valores p_1 , p_2 , p_3 y p_4 detectados del ángulo recibidos por el circuito de cálculo de rotación múltiple 35 tienen cada uno una resolución de 17 bits, el valor detectado de cada árbol cambia entre 0 y 131072 durante cada revolución del árbol, como se indica mediante la ordenada en la figura 5.

El circuito de cálculo de rotación múltiple 35 recibe los valores p_1 , p_2 , p_3 y p_4 detectados del ángulo desde el puerto de comunicación 34 y el circuito de cálculo de conversión RD 38 y sustituye los valores en la Fórmula (15). Con esta operación, el circuito de cálculo de rotación múltiple 35 puede calcular y emitir el ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple θ_c cuando m es 32, la resolución es de 17 bits ($2^{17} = 131072$) y un intervalo de rotación múltiple es de 15 bits ($2^{15} = 32768$).

La figura 6 es un gráfico que representa señales periódicas obtenidas mediante las Fórmulas (11) a (13). La abscisa representa el número de revoluciones, que oscila entre 0 y 32768, del primer árbol giratorio 23 y se omite parcialmente por motivos de simplicidad. La línea inferior de la figura 6 corresponde a la Fórmula (11) y representa una señal periódica cuyo ciclo corresponde a 32 revoluciones. La línea inferior muestra que un ángulo de rotación absoluto cuando el número de revoluciones del primer árbol giratorio 23 oscila entre 0 y 32 puede detectarse a partir de la señal periódica que se obtiene sustituyendo los valores p_1 y p_1 detectados del ángulo del primer y segundo árboles giratorios 23 y 24 en la Fórmula (11). La línea media de la figura 6 corresponde a la Fórmula (12) y representa una señal periódica cuyo ciclo corresponde a 1024 revoluciones. La línea media muestra que un ángulo de rotación absoluto cuando el número de revoluciones del primer árbol giratorio 23 oscila entre 0 y 1024 puede detectarse a partir de la señal periódica que se obtiene sustituyendo los valores p_1 , p_2 y p_3 detectados del ángulo del primer a tercer árboles giratorios 23 a 25 en la Fórmula (12). La línea superior de la figura 6 corresponde a la Fórmula (13) y representa una señal periódica cuyo ciclo corresponde a 32768 revoluciones. La línea superior muestra que un ángulo de rotación absoluto cuando el número de revoluciones del primer árbol giratorio 23 oscila entre 0 y 32768 puede detectarse a partir de la señal periódica que se obtiene sustituyendo los valores p_1 , p_2 , p_3 y p_4 detectados del ángulo del primer a cuarto árboles giratorios 23 a 26 en la Fórmula (13).

Realización 2

Los dispositivos de detección de ángulo de rotación absoluta de rotación múltiple anteriormente descritos pueden alcanzar un amplio intervalo de detección de rotación múltiple aumentando el número de árboles giratorios. Sin embargo, se requiere alta precisión para detectores de ángulo individuales que miden valores detectados de árboles giratorios para calcular un valor calculado del ángulo de rotación de rotación múltiple preciso, como se describirá a continuación. Generalmente, los valores detectados medidos por detectores de ángulo incluyen errores. Qué nivel de errores es tolerable para que cada detector de ángulo mantenga constante la precisión de un valor calculado del ángulo de rotación de rotación múltiple de un primer árbol giratorio se considerará a continuación. Por ejemplo, se calcula un valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(mn^{-1})$ de un primer árbol giratorio de un dispositivo de detección de ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple con n ejes multiplicando una señal periódica $S(m^1)$ representada por la Fórmula 11) mediante un intervalo de detección de ángulos de rotación m^1 cuando el número n de árboles giratorios es 2, calculado multiplicando una señal periódica $S(m^2)$ representada por la Fórmula (12) mediante un intervalo de detección del ángulo de rotación m^2 cuando el número n es 3 y calculado multiplicando una señal periódica $S(m^3)$ representada por la Fórmula (13) mediante un intervalo de detección del ángulo de rotación m^3 cuando el número n es 4, tal como se muestra en la Fórmula (15). Los valores calculados se representan mediante las Fórmulas (17) a (19).

Si el número de ejes es 2,
[Expresión 38]

$$\theta_{1(m^1)} = \text{mod}(p_1 + p_2, 1) \times m^1 \quad (17)$$

Si el número de ejes es 3,
[Expresión 39]

$$\theta_{1(m^2)} = \text{mod}(p_1 + 2p_2 + p_3, 1) \times m^2 \quad (18)$$

Si el número de ejes es 4,
[Expresión 40]

$$\theta_{1(m^3)} = \text{mod}(p_1 + 3p_2 + 3p_3 + p_4, 1) \times m^3 \quad (19)$$

En las Fórmulas (17) a (19), m es el número de dientes del primer árbol giratorio. Una cantidad unitaria u en las Fórmulas (11) a (13) se establece en 1. Es decir, cada función de frecuencia toma un valor que varía de 0 a 1 de acuerdo con un ángulo de rotación del primer árbol giratorio.

- 5 Sea e_n un valor absoluto de un error de detección en cada árbol giratorio. Para que la precisión del valor de cálculo del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ del primer árbol giratorio no se mantenga más de una revolución ($\pm 0,5$ rev), el valor absoluto e_n debe satisfacer las Fórmulas (20) a (22) a continuación.

Si el número de ejes es 2,
[Expresión 41]

$$e_1 + e_2 < \frac{1}{2m^1} \quad (20)$$

Si el número de ejes es 3,
[Expresión 42]

$$e_1 + 2e_2 + e_3 < \frac{1}{2m^2} \quad (21)$$

Si el número de ejes es 4,
[Expresión 43]

$$e_1 + 3e_2 + 3e_3 + e_4 < \frac{1}{2m^3} \quad (22)$$

Asumiendo que los errores de detección en los árboles giratorios son sustancialmente iguales y son e , los errores de detección deben caer dentro de uno de los intervalos siguientes.

Si el número de ejes es 2,
[Expresión 44]

$$e < \frac{1}{4m^1} \quad (23)$$

Si el número de ejes es 3,
[Expresión 45]

$$e < \frac{1}{8m^2} \quad (24)$$

Si el número de ejes es 4,
[Expresión 46]

$$e < \frac{1}{16m^3} \quad (25)$$

Por deducción de un intervalo de error cuando el número de árboles es n a partir de las Fórmulas (23) a (25), el intervalo de error se representa como en la Fórmula (26) siguiente.
[Expresión 47]

$$e < \frac{1}{2^n m^{n-1}} \quad (26)$$

Como puede deducirse de la Fórmula (26), aunque el incremento en el número n de árboles ensancha un intervalo de detección de rotación múltiple, el aumento también aumenta exponencialmente la precisión de detección requerida para un detector de ángulo de cada árbol que se va a detectar. Requerir que cada detector de ángulo tenga una alta precisión de detección deseada provoca un aumento en el coste de un dispositivo de detección de rotación múltiple. Existe por lo tanto una necesidad de procesamiento de cálculo para obtener un ángulo de rotación de rotación múltiple que reduce el efecto de errores de detección en detectores de ángulo mientras se reduce la

precisión de detección requerida para los detectores de ángulo de los árboles giratorios respectivos.

A continuación, se describirá un método de cálculo para obtener un valor calculado de ángulo de rotación múltiple que reduce el efecto de errores de detección en detectores de ángulo, utilizando un mecanismo de transmisión 10 mostrado en la figura 1. Generalmente, un entero l se puede expandir a una secuencia de potencias de m , m_n . Más específicamente, dejando que k sea un entero que oscile de 0 a n y a_k sea un entero dentro del intervalo $0 \leq a_k < n$, el entero l puede expresarse como $l = a_0m^0 + a_1m^1 + a_2m^2 + \dots + a_nm^n$. Por ejemplo, si m es 10, el número entero 1056 puede expandirse a $6 \times 10^0 + 5 \times 10^1 + 0 \times 10^2 + 1 \times 10^3$. La expresión se llama un número decimal. En la siguiente descripción, una parte correspondiente al número de revoluciones de un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple utiliza una notación de base m ampliada.

Haciendo referencia a la figura 1, se puede expresar matemáticamente un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de un primer árbol giratorio 11 utilizando la suma de un valor p_1 detectado del ángulo dentro de una revolución del primer árbol giratorio 11 y el número de revoluciones de rotación múltiple del primer árbol giratorio 11. Si el número de revoluciones de rotación múltiple está representado en la notación de base m (cuyo motivo se explicará más adelante), un valor calculado del ángulo de rotación de rotación múltiple $\theta_1(m^{n-1})'$ (también designado por θ_c) del primer árbol giratorio puede expresarse mediante una fórmula de cálculo del ángulo de rotación en la Fórmula (27) siguiente.

[Expresión 48]

$$\begin{aligned}\theta_{1(m^{n-1})}' &= p_1 + (R_0 \times m^0 + R_1 \times m^1 + R_2 \times m^2 + \dots + R_{n-2} \times m^{n-2}) \times u \\ &= p_1 + \sum_{i=2}^n (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u\end{aligned}\quad (27)$$

donde m corresponde al número de dientes del primer árbol giratorio, n es el número de árbol, los coeficientes R_0 a R_{n-2} son números enteros que van de 0 a $m-1$ inclusive ($0 \leq R_0$ a $R_{n-2} < m$), y u es una cantidad unitaria de base. En la estructura del mecanismo de transmisión 10 mostrado en la figura 1, puesto que un intervalo de detección de rotación múltiple aumenta m veces para cada aumento del árbol giratorio, es conveniente expresar una parte correspondiente al número de revoluciones de rotación múltiple en la Fórmula (27) en la notación de base m .

Se obtiene un ángulo de rotación de rotación múltiple calculado $\theta_1(mn^{-1})$ del primer árbol giratorio 11 mediante la sustitución de los valores detectados p_1 a p_n detectados para árboles giratorios respectivos en la Fórmula (15). En esencia, el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ y el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ pueden hacerse sustancialmente iguales seleccionando apropiadamente los coeficientes R_0 a R_{n-2} . Es decir, si los coeficientes R_0 a R_{n-2} se seleccionan apropiadamente de tal manera que una parte correspondiente al número de revoluciones de rotación múltiple del valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ sea igual a una parte correspondiente al número de revoluciones del valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$, un error del valor calculado del ángulo de rotación incluido en el valor calculado $\theta_1(m^{n-1})'$ del ángulo de rotación puede limitarse a un error de detección resultante a partir del valor detectado p_1 del primer árbol giratorio. A continuación, se describirá un método para calcular los coeficientes R_0 a R_{n-2} para obtener el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ de los valores detectados p_1 a p_n detectados por los detectores de los respectivos árboles giratorios.

Para simplificar la descripción, supongamos que el número n_{max} de árboles giratorios es 4, el número m de dientes del primer árbol giratorio es 4, y la cantidad unitaria de base u es 1 en el mecanismo de transmisión 10 mostrado en la figura 1. En este caso, el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(mn^{-1})'$ del primer árbol giratorio puede expresarse sobre la base de la Fórmula (27) como en la Fórmula (28) siguiente.

[Expresión 49]

$$\begin{aligned}\theta_{1(4^{n-1})}' &= p_1 + R_0 \times 4^0 + R_1 \times 4^1 + R_2 \times 4^2 \\ &= p_1 + R_0 \times 1 + R_1 \times 4 + R_2 \times 16\end{aligned}\quad (28)$$

Se describirá un método para calcular los coeficientes R_0 a R_2 bajo las condiciones descritas anteriormente.

Como se puede observar a partir de la relación mostrada en la Fórmula (1), un ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio tiene relaciones mostradas en las Fórmulas (29) a (31) siguientes con ángulos de rotación θ_2 , θ_3 y θ_4 , respectivamente, del segundo, tercer y cuarto árboles giratorios.

[Expresión 50]

$$\theta_2 = -\frac{3}{4} \times \theta_1 \quad (29)$$

$$\theta_3 = \frac{9}{16} \times \theta_1 \quad (30)$$

$$\theta_4 = -\frac{27}{64} \times \theta_1 \quad (31)$$

5 En consecuencia, los ángulos de rotación θ_2 , θ_3 y θ_4 del segundo, tercer y cuarto árboles giratorios con respecto al ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio se muestran en la figura 7.

10 El valor detectado p_n indica un valor detectado dentro de una revolución en un n-ésimo árbol giratorio (puesto que la cantidad unitaria de base u es 1 en este ejemplo, el valor oscila de 0 a 1). Aunque un ángulo de rotación θ_n y el valor detectado p_n del n-ésimo árbol giratorio son estrictamente como se muestra en la Fórmula (6), p_n es realmente sustancialmente igual a $\text{mod}(\theta_n, u)$ debido a un error incluido en un detector de ángulo correspondiente. Por consiguiente, en cuanto a los valores detectados p_1 , p_2 , p_3 y p_4 de los árboles giratorios respectivos, si las Fórmulas (29) a (31) anteriores son sustituidas en los ángulos de rotación θ_2 , θ_3 y θ_4 de los ejes de rotación respectivos, las relaciones del ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio con los valores detectados p_1 , p_2 , p_3 y p_4 de los árboles giratorios respectivos son como se muestra en las Fórmulas (32) a (35).
[Expresión 51]

$$p_1 \approx \text{mod}(\theta_1, 1) \quad (32)$$

$$20 \quad p_2 \approx \text{mod}(\theta_2, 1) = \text{mod}\left(-\frac{3}{4} \times \theta_1, 1\right) \quad (33)$$

$$p_3 \approx \text{mod}(\theta_3, 1) = \text{mod}\left(\frac{9}{16} \times \theta_1, 1\right) \quad (34)$$

$$25 \quad p_4 \approx \text{mod}(\theta_4, 1) = \text{mod}\left(-\frac{27}{64} \times \theta_1, 1\right) \quad (35)$$

Por consiguiente, en la figura 8 se muestran los valores detectados p_1 , p_2 , p_3 y p_4 de los árboles giratorios respectivos con respecto al ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio.

30 Si no se incluye un error en el valor p_n detectado en el ángulo, una señal periódica $S(m^{n-1})$ tiene una relación mostrada en la Fórmula (14). Si la señal periódica $S(m^{n-1})$ se obtiene usando el valor p_n detectado del ángulo que incluye un error, tales errores afectan al cálculo, lo que conduce a un aumento del error. Puesto que el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ obtenido por la Fórmula (27) no incluye un error en los términos distintos del valor p_1 detectado en el ángulo del primer árbol giratorio, un valor corregido de ángulo p_n' que se calcula mediante una fórmula de cálculo del valor corregido del ángulo en la Fórmula (36) siguiente y no incluye un error, se utiliza para calcular la señal periódica $S(m^{n-1})$, en lugar del valor p_n detectado del ángulo que incluye un error.
[Expresión 52]

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m+1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-1})}, u\right) \quad (36)$$

40 La relación entre los valores corregidos del ángulo de los árboles giratorios respectivos y la señal periódica se representa como en la Fórmula (37) a continuación.
[Expresión 53]

$$S_{(m^{n-1})} = \text{mod}((k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2' + k_3 \times p_3' \cdots k_{n-1} \times p_{n-1}' + k_n \times p_n) \times J^{n-1}, u) \quad (37)$$

45 donde los valores corregidos de ángulo p_2' a p_{n-1}' son valores corregidos para los valores detectados del ángulo p_2 a p_{n-1} y J es un término de ajuste del signo que es 1 si la relación de cambio entre árboles giratorios adyacentes es $-(m-1)/m$ y es -1 si la relación de cambio es $-(m+1)/m$.

50 Cuando las señales periódicas $S(m^1)$, $S(m^2)$ y $S(m^3)$ cuyos ciclos corresponden a 4 ($= m^1$), 16 ($= m^2$) y 64 ($= m^3$) se obtienen revoluciones del primer árbol giratorio a partir de las Fórmulas (11) a (13) con el valor corregido del ángulo

p_n' , las señales periódicas se expresan como en las Fórmulas (38) a (41) siguientes. Obsérvese que una señal periódica $S(m^0)$ del primer árbol giratorio es el propio valor p_1 de detección del ángulo. Dado que la relación $\text{mod}(a,c)+\text{mod}(a,c) = \text{mod}((a+b),c)$ y la relación $b \times \text{mod}(a,c) = \text{mod}(a \times b,c)$ se mantiene en el cálculo del módulo, las señales periódicas $S(m^1)$ a $S(m^3)$ se deforman de las maneras como en las Fórmulas (38) a (41) siguientes.

5 [Expresión 54]

$$\begin{aligned} S_{(m^0)} &= p_1 \\ &\approx \text{mod}(\theta_1, 1) \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} S_{(m^1)} &= \text{mod}(p_1 + p_2, 1) \\ &\approx \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, 1) + \text{mod}(-\frac{3}{4} \times \theta_1, 1), 1) \\ &\approx \text{mod}(\frac{1}{4} \times \theta_1, 1) \end{aligned} \quad (39)$$

10

$$\begin{aligned} S_{(m^2)} &= \text{mod}(p_1 + 2p_2' + p_3, 1) \\ &\approx \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, 1) + 2 \times \text{mod}(-\frac{3}{4} \times \theta_1, 1) + \text{mod}(\frac{9}{16} \times \theta_1, 1), 1) \\ &\approx \text{mod}(\frac{1}{16} \times \theta_1, 1) \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} S_{(m^3)} &= \text{mod}(p_1 + 3p_2' + 3p_3' + p_4, 1) \\ &\approx \text{mod}(\text{mod}(\theta_1, 1) + 3 \times \text{mod}(-\frac{3}{4} \times \theta_1, 1) + 3 \times \text{mod}(\frac{9}{16} \times \theta_1, 1) \\ &\quad + \text{mod}(-\frac{27}{64} \times \theta_1, 1), 1) \\ &\approx \text{mod}(\frac{1}{64} \times \theta_1, 1) \end{aligned} \quad (41)$$

15 Por consiguiente, en la figura 9 se muestran las relaciones de las funciones periódicas $S(m^1)$, $S(m^2)$ y $S(m^3)$ con el ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio. Como se muestra en la figura 9, la señal periódica $S(m^1)$ tiene una forma de onda de diente de sierra que aumenta monotónicamente de 0 a 1 por cada 4 incremento del ángulo de rotación del primer árbol giratorio, la señal periódica $S(m^2)$ tiene una forma de onda de diente de sierra que aumenta monotónicamente de 0 a 1 por cada 16 incremento en el ángulo de rotación, y la señal periódica $S(m^3)$ tiene una forma de onda de diente de sierra que aumenta monotónicamente de 0 a 1 por cada 64 incremento en el ángulo de rotación.

20

A partir de la naturaleza de las señales periódicas descritas anteriormente, el valor calculado del ángulo de rotación $S(m^{n-1})$ del primer árbol giratorio cuando el número de revoluciones alcanza m^{n-1} se puede calcular multiplicando la función periódica $S(m^{n-1})$ por m^{n-1} , como en la Fórmula (42) siguiente.

25

[Expresión 55]

$$\theta_{1(m^{n-1})} = S_{(m^{n-1})} \times m^{n-1} \quad (42)$$

30 Por consiguiente, las fórmulas (43) a (46) representan las relaciones entre la función periódica y el ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ del primer árbol giratorio cuando n es 1 a 4.

[Expresión 56]

$$\theta_{1(m^0)} = S_{(m^0)} \times m^0 \approx p_1 = \text{mod}(\theta_1, 1) \quad (43)$$

$$\theta_{1(m^1)} = S_{(m^1)} \times m^1 \approx \text{mod}\left(\frac{1}{4} \theta_1, 1\right) \times 4 = \text{mod}(\theta_1, 4) \quad (44)$$

$$\theta_{1(m^2)} = S_{(m^2)} \times m^2 \approx \text{mod}\left(\frac{1}{16} \theta_1, 1\right) \times 16 = \text{mod}(\theta_1, 16) \quad (45)$$

$$\theta_{1(m^3)} = S_{(m^3)} \times m^3 \approx \text{mod}\left(\frac{1}{64} \theta_1, 1\right) \times 64 = \text{mod}(\theta_1, 64) \quad (46)$$

La fórmula (44) indica una forma de onda de diente de sierra que cambia de 0 a 4 para cada 4 revoluciones del primer árbol giratorio. La fórmula (45) indica una forma de onda de diente de sierra que cambia de 0 a 16 para cada 16 revoluciones del primer árbol giratorio. La fórmula (46) indica una forma de onda de diente de sierra que aumenta monótonamente de 0 a 64 para cada 64 revoluciones del primer árbol giratorio.

Se describirá un método de cálculo para calcular los coeficientes R_0 a R_{n-2} mostrados en la Fórmula (27) a partir de las expresiones relacionales descritas anteriormente. Dado que los coeficientes R^0 a R^{n-2} en la Fórmula (42) toman solo números naturales, el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ mostrado en la Fórmula (27) y el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ mostrado en la Fórmula (42) no son completamente consistentes entre sí, sino aproximados entre sí. Es decir, siguiendo la Fórmula (47):

[Expresión 57]

$$\theta_{1(m^{n-1})} \approx \theta_{1(m^{n-1})}' \quad (47)$$

se mantiene.

Cuando la Fórmula (27) se sustituye en el ángulo de rotación calculado $\theta_1(m^{n-1})'$ en la fórmula (47), se deriva la Fórmula (48) a continuación.

[Expresión 58]

$$\theta_{1(m^{n-1})} \approx p_1 + (R_0 \times m^0 + R_1 \times m^1 + R_2 \times m^2 + \dots + R_{n-2} \times m^{n-2}) \times u \quad (48)$$

Los valores calculados del ángulo de rotación $\theta_1(m^0)'$, $\theta_1(m^1)'$, $\theta_1(m^2)'$ y $\theta_1(m^3)'$ cuando $n = 1$ a 4 se representan como en las Fórmulas (49) a (52) a continuación.

[Expresión 59]

$$\theta_{1(m^0)}' = p_1 \quad (49)$$

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^1)}' &= p_1 + (R_0 \times m^0) \times u \\ &= \theta_{1(m^0)}' + R_0 \times m^0 \times u \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^2)}' &= p_1 + (R_0 \times m^0 + R_1 \times m^1) \times u \\ &= \theta_{1(m^1)}' + R_1 \times m^1 \times u \end{aligned} \quad (51)$$

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^3)}' &= p_1 + (R_0 \times m^0 + R_1 \times m^1 + R_2 \times m^2) \times u \\ &= \theta_{1(m^2)}' + R_2 \times m^2 \times u \end{aligned} \quad (52)$$

Mediante la deducción de las relaciones mostradas en las Fórmulas (49) a (52), el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ se expresa como en la Fórmula (53) a continuación.

[Expresión 60]

$$\theta_{1(m^{n-1})}' = \theta_{1(m^{n-2})}' + R_{n-2} \times m^{n-2} \times u \quad (53)$$

Considerando el hecho de que el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ es sustancialmente igual al valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$, la Fórmula (54) siguiente se obtiene a partir de las relaciones en las

Fórmulas (47) y (53) anteriores. El coeficiente R_{n-2} se determina de la manera que se describe a continuación seleccionando el coeficiente R_{n-2} que satisface la relación en la Fórmula (54).
[Expresión 61]

$$\theta_{1(m^{n-1})} \approx \theta_{1(m^{n-1})}' = \theta_{1(m^{n-2})}' + R_{n-2} \times m^{n-2} \times u \quad (54)$$

Cuando $\theta_{1(m^{n-2})}'$ en el lado derecho de la Fórmula (54) se mueve primero al lado izquierdo, se obtiene la Fórmula (55).
[Expresión 62]

$$\theta_{1(m^{n-1})} - \theta_{1(m^{n-2})}' \approx R_{n-2} \times m^{n-2} \times u \quad (55)$$

Suponiendo que n es 2 y la cantidad unitaria de base u es 1,
[Expresión 63]

$$\theta_{1(m^1)} - \theta_{1(m^0)}' \approx R_0 \times m^0 \quad (56)$$

se obtiene. Sobre la base de la relación mostrada en la Fórmula (44), $\text{mod}(\theta_1, 4)$ se sustituye por $\theta_1 (m^1)$. Además, puesto que $\theta_1 (m^0)'$ es sustancialmente igual a $\theta_1 (m^0)$, como se muestra en la Fórmula (47), $\text{mod}(\theta_1, 1)$ mostrado en la Fórmula (43) se sustituye en la Fórmula (56). En este caso,
[Expresión 64]

$$R_0 \times m^0 = R_0 = \text{mod}(\theta_1, 4) - \text{mod}(\theta_1, 1) \quad (57)$$

se mantiene. Debe tenerse en cuenta que m es 4.

En la Fórmula (57), $\text{mod}(\theta_1, 4)$ tiene ondas de dientes de sierra con un periodo de 4 que suben de 0 a 4 mientras que $\text{mod}(\theta_1, 1)$ tiene ondas de dientes de sierra con un periodo de 1 que aumenta desde 0 a 1. Por consiguiente, el coeficiente R_0 en la Fórmula (57) forma una forma de onda escalonada que tiene un periodo de 4 y tres escalones con una altura de 1, como se muestra en la parte inferior de la figura 10.

Cuando u y n se establecen en 1 y 3, respectivamente, en la Fórmula (54), y se realiza el procesamiento como se ha descrito anteriormente,
[Expresión 65]

$$R_1 \times m^1 = \text{mod}(\theta_1, 16) - \text{mod}(\theta_1, 4)$$

$$R_1 = \frac{\text{mod}(\theta_1, 16) - \text{mod}(\theta_1, 4)}{4} \quad (58)$$

se mantiene.

En la Fórmula (58), $\text{mod}(\theta_1, 16)$ tiene ondas de dientes de sierra con una altura de 16 y un periodo de 16 mientras que $\text{mod}(\theta_1, 4)$ tiene ondas de dientes de sierra con una altura de 4 y un periodo de 4. Por consiguiente, el coeficiente R_1 mostrado en la Fórmula (58) forma una forma de onda escalonada que tiene un periodo de 16 y tres escalones con una altura de 1, como se muestra en la parte media de la figura 10.

Cuando u y n se establecen en 1 y 3, respectivamente, en la Fórmula (54), y se realiza el procesamiento como se ha descrito anteriormente,
[Expresión 66]

$$R_2 \times m^2 = \text{mod}(\theta_1, 64) - \text{mod}(\theta_1, 16)$$

$$R_2 = \frac{\text{mod}(\theta_1, 64) - \text{mod}(\theta_1, 16)}{16} \quad (59)$$

se mantiene.

En la Fórmula (59), $\text{mod}(\theta_1, 64)$ tiene ondas de dientes de sierra con una altura de 64 y un periodo de 64 mientras que $\text{mod}(\theta_1, 16)$ tiene ondas de dientes de sierra con una altura de 16 y un periodo de 16. Por consiguiente, el

coeficiente R_2 en la Fórmula (59) forma una forma de onda escalonada que tiene un periodo de 64 y tres escalones con una altura de 1, como se muestra en la parte superior de la figura 10.

Una parte entera del valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ calculado por la Fórmula (28) es la suma de los valores obtenidos multiplicando los coeficientes R_0 a R_2 por 1, 4 y 16, respectivamente. La forma de onda de la parte entera es como se muestra en la figura 11. Es decir, el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ se obtiene añadiendo el valor p_1 detectado del ángulo del primer árbol giratorio a la parte entera.

Cuando el coeficiente R_{n-2} debe derivarse de la Fórmula (54), la Fórmula (54) se deforma como en la Fórmula (60) siguiente.
[Expresión 67]

$$R_{n-2} \approx \frac{\theta_{1(m^{n-1})} - \theta_{1(m^{n-2})}}{m^{n-2} \times u} \quad (60)$$

Si u es 1 y n es 2 a 4, los coeficientes R_0 a R_2 se dan por las fórmulas siguientes.
[Expresión 68]

$$R_0 \approx \frac{\theta_{1(m^1)} - \theta_{1(m^0)}}{1} \quad (61)$$

$$R_1 \approx \frac{\theta_{1(m^2)} - \theta_{1(m^1)}}{4} \quad (62)$$

$$R_2 \approx \frac{\theta_{1(m^3)} - \theta_{1(m^2)}}{16} \quad (63)$$

Puesto que los coeficientes R_0 a R_{n-2} son números enteros, el número entero como el coeficiente R_{n-2} se puede calcular, por ejemplo, añadiendo 0,5 al lado derecho de la Fórmula (60) y dejando caer una parte fraccional, como se muestra en la Fórmula (64) siguiente. Cuando $S(m^{n-1}) \times m^{n-1}$ (Fórmula (42)) se sustituye por $\theta_{1(m^{n-1})}$ en la Fórmula (64), se obtiene la Fórmula (65).

[Expresión 69]

$$R_{n-2} = INT(\text{mod}(\frac{\theta_{1(m^{n-1})} - \theta_{1(m^{n-2})}}{m^{n-2} \times u} + 0,5, m)) \quad (64)$$

$$= INT(\text{mod}(\frac{S_{(m^{n-1})} \times m}{u} - \frac{\theta_{1(m^{n-2})}}{m^{n-2} \times u} + 0,5, m)) \quad (65)$$

INT(x) se refiere aquí a una operación que elimina una parte fraccionaria de un valor numérico x. Una operación de módulo cuya cantidad unitaria es m se realiza para obtener un resultado de cálculo cuando el coeficiente R_{n-2} cae dentro del intervalo efectivo de 0 a m-1. Como se ha descrito anteriormente, se obtiene una fórmula general para calcular los coeficientes R_0 a R_{n-2} como Fórmula (65).

El valor calculado del ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple $\theta_1(mn^{-1})'$ del primer árbol giratorio se obtiene específicamente usando la Fórmula (65) para calcular los coeficientes R_0 a R_{n-2} . Para simplificar la descripción del procedimiento de cálculo, se obtiene el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ del primer árbol giratorio en las suposiciones de que el número nmax de árboles giratorios es de 4, que la relación de cambio es 3/4 ($m = 4$), y que la cantidad de unidad de base u es 1. En primer lugar, en el momento del cálculo del ángulo de rotación calculado $\theta_1(m^3)'$, se obtienen los valores p_1 , p_2 , p_3 y p_4 detectados del ángulo teórico de los árboles giratorios respectivos cuando el ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio es de 53,5 (rev).

Los ángulos de rotación θ_2 , θ_3 y θ_4 del segundo, tercer y cuarto árboles giratorios con respecto al ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio se representan como en la fórmula siguiente sobre la base de la Fórmula (1).

[Expresión 70]

$$\theta_2 = -\frac{3}{4} \times \theta_1, \quad \theta_3 = \frac{9}{16} \times \theta_1, \quad \theta_4 = -\frac{27}{64} \times \theta_1$$

- 5 Si se utiliza un detector de ángulo con un multiplicador de ángulo de árbol de 1 (el detector de ángulo emite una señal detectada para un ciclo cuando el árbol giratorio correspondiente gira una vez), el valor p_n detectado del ángulo de cada árbol giratorio está representado por $p_n = \text{mod}(\theta_n, 1)$. Por consiguiente, los valores p_1 , p_2 , p_3 y p_4 detectados del ángulo teórico de los árboles giratorios respectivos exhiben valores numéricos obtenidos mediante las fórmulas siguientes.

10

[Expresión 71]

$$p_1 = \text{mod}(\theta_1, 1) = \text{mod}(53, 5, 1) = 0,5$$

$$p_2 = \text{mod}\left(-\frac{3}{4} \theta_1, 1\right) = \text{mod}\left(-\frac{3}{4} \times 53, 5, 1\right) = \text{mod}(-40, 125, 1) = 0,875$$

$$p_3 = \text{mod}\left(\frac{9}{16} \theta_1, 1\right) = \text{mod}\left(\frac{9}{16} \times 53, 5, 1\right) = \text{mod}(30, 094, 1) = 0,094$$

$$p_4 = \text{mod}\left(-\frac{27}{64} \theta_1, 1\right) = \text{mod}\left(-\frac{27}{64} \times 53, 5, 1\right) = \text{mod}(-22, 570, 1) = 0,430$$

- 15 Sin embargo, una señal de salida desde un detector de ángulo real incluye un error. El valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)$ se calcula sobre la suposición de que los valores de ángulo detectados por debajo de eso se obtienen añadiendo un error de, por ejemplo, 0,05 (rev) a los valores detectados del ángulo teórico p_1 , p_2 , p_3 y p_4 .

$$p_1 = 0,500 + 0,05 = 0,550$$

$$p_2 = 0,875 + 0,05 = 0,925$$

$$p_3 = 0,094 + 0,05 = 0,144$$

$$p_4 = 0,430 + 0,05 = 0,480$$

20

Asumiendo que el número $n_{\max}$ de los árboles giratorios es 4, m es 4, y que la cantidad unitaria de base u es 1, como puede verse a partir de la Fórmula (27), el ángulo de rotación calculado $\theta_1(m^3)$ se representa como en la Fórmula (66) siguiente.

[Expresión 72]

25

$$\theta_{1(m^3)}' = p_1 + R_0 \times m^0 + R_1 \times m^1 + R_2 \times m^2 = p_1 + R_0 + 4R_1 + 16R_2 \quad (66)$$

- 30 De acuerdo con ello, para obtener el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)$, los coeficientes R_0 , R_1 y R_2 se calculan secuencialmente usando la Fórmula (37), la Fórmula (65), la Fórmula (27), y la Fórmula (36) para cada caso en el que $n = 2$, un caso donde $n = 3$, y un caso donde $n = 4$.

Los procedimientos para calcular los coeficientes R_0 , R_1 , y R_2 son como se muestra a continuación. Como se muestra en el diagrama de flujo en la figura 12, en primer lugar, se establece el número $n_{\max}$ de árboles giratorios (en 4 en el ejemplo posterior), y un valor de contador n se establece en 2 (etapa 121). Cuando el valor del contador n es 2, el valor de la señal periódica $S(m^1)$ se calcula a partir de los valores p_1 y p_2 detectados en el ángulo mediante la Fórmula (39) (etapa 122). El coeficiente R_0 correspondiente a la señal periódica $S(m^1)$ se obtiene mediante la Fórmula (65) (etapa 123). Dado que el coeficiente R_0 se utiliza para calcular un siguiente valor calculado del ángulo de rotación, el coeficiente R_0 se almacena en una memoria. Cuando se obtiene el coeficiente R_0 , el valor calculado $\theta_1(m^1)$ del ángulo de rotación cuando el valor del contador n es 2 se calcula a partir del coeficiente R_0 mediante la Fórmula (50) y se almacena en la memoria (etapa 124). El valor del contador n se incrementa en 1. Si el valor del contador n es mayor que $n_{\max}$, el cálculo que obtiene un valor calculado del ángulo de rotación termina. De lo contrario, el flujo avanza a la etapa 126 (etapa 125). Puesto que, en cuanto al valor calculado del ángulo de rotación calculado $\theta_1(m^1)$, un término (el término $R_0 \times m^0$ aquí) distinto del valor p_1 detectado en el ángulo en la Fórmula (50) no incluye un error de detección, el valor corregido del ángulo p_2' correspondiente al ángulo de rotación calculado, el

35

40

valor calculado $\theta_1(m^1)'$ se obtiene mediante la Fórmula (36) y se almacena en la memoria (etapa 126). El valor corregido de ángulo p_2' se utiliza para calcular el siguiente valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^2)'$. Se repiten las etapas descritas anteriormente para el número n de árbol giratorio = 3 y 4, y los coeficientes R_1 y R_2 se obtienen secuencialmente. Finalmente, se calcula el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ (etapa 124) y el flujo termina (etapa 125). Las etapas que calculan los valores calculados del ángulo de rotación cuando el número de árboles giratorios es 4 han sido descritas esquemáticamente anteriormente. Incluso si el número de árboles giratorios es superior a 4, se repiten los mismos procesos, se obtienen secuencialmente los coeficientes R_0 a R_{n-2} y finalmente se calcula el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$. Las etapas descritas anteriormente se describirán en detalle a continuación.

En primer lugar, el número n_{max} de árboles giratorios se establece en 4 y el valor de contador n se establece en 2 (etapa 121). En cuanto a la señal periódica $S(m^1)$, 0,550 y 0,925 se sustituyen por p_1 y p_2 , respectivamente, en la Fórmula (67) siguiente. El valor de la señal periódica $S(m^1)$ se calcula de la manera siguiente para que sea 0,475 (etapa 122).

[Expresión 73]

$$\begin{aligned} S_{(m^1)} &= \text{mod}(k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2, 1) \\ &= \text{mod}(p_1 + p_2, 1) \\ &= \text{mod}(0,550 + 0,925, 1) \\ &= \text{mod}(1,475, 1) \\ &= 0,475 \end{aligned} \quad (67)$$

En la Fórmula (67), k_1 y k_2 son 1.

En cuanto a los coeficientes R_0 , 0,475, 4, y 0,550 se sustituyen por $S(m^1)$, m y $\theta_1(m^0)'$ = p_1 , respectivamente, en la Fórmula (68) siguiente. El coeficiente R_0 se calcula de la manera siguiente para ser 1 (etapa 123).

[Expresión 74]

$$\begin{aligned} R_0 &= \text{INT}(\text{mod}(S_{(m^1)} \times m - \frac{\theta_{1(m^0)}'}{m^0} + 0,5, m)) \\ &= \text{INT}(\text{mod}(S_{(m^1)} \times m - p_1 + 0,5, m)) \\ &= \text{INT}(\text{mod}(0,475 \times 4 - 0,55 + 0,5, 4)) \\ &= \text{INT}(1,85) \\ &= 1 \end{aligned} \quad (68)$$

El coeficiente R_0 se almacena en la memoria para ser utilizado en el momento del cálculo de un valor calculado del ángulo de rotación para obtenerse finalmente.

Cuando se obtiene R_0 , el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^1)'$ se obtiene a partir de la Fórmula (50) como en la Fórmula (69) siguiente (etapa 124).

[Expresión 75]

$$\theta_{1(m^1)}' = \theta_{1(m^0)}' (= p_1) + R_0 \times m^0 = 0,55 + 1 \times 1 = 1,55 \quad (69)$$

El valor del contador n se incrementa en 1. Si el valor de contador n no ha alcanzado 4, el flujo avanza a una etapa siguiente (etapa 125). En la etapa 126, se obtiene el valor corregido del ángulo p_2' del segundo árbol giratorio correspondiente al valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^1)'$ mediante la Fórmula (36) (etapa 126).

[Expresión 76]

$$p_2' = \text{mod}((-\frac{3}{4})^1 \times \theta_{1(m^1)}', 1) = \text{mod}(-1,162, 1) = 0,838$$

El valor corregido de ángulo p_2' se utiliza para obtener el coeficiente R_1 cuando el valor del contador n es 3.

El flujo del proceso vuelve desde la etapa 126 a la etapa 122, y se repite el mismo procesamiento que se ha descrito anteriormente. Es decir, cuando el valor del contador n es 3, la función periódica $S(m^2)$ se obtiene a partir de la Fórmula (37) de la manera siguiente (etapa 122).
[Expresión 77]

5

$$\begin{aligned} S_{(m^2)} &= \text{mod}(k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2' + k_3 \times p_3, 1) \\ &= \text{mod}(p_1 + 2p_2' + p_3, 1) \\ &= \text{mod}(0,550 + 2 \times 0,838 + 1 \times 0,144, 1) \\ &= \text{mod}(2,370, 1) = 0,370 \end{aligned} \quad (70)$$

En la Fórmula (70), k_1 es 1, $k_2 = 2$, y $k_3 = 1$.

10 El coeficiente R_1 se calcula sustituyendo 0,370, 4 y 1,55 por $S(m^2)$, m, y $\theta_1(m^1)$, respectivamente, en la Fórmula (65). El coeficiente R_1 se calcula de la manera siguiente para ser 1 (etapa 123).
[Expresión 78]

$$\begin{aligned} R_1 &= \text{INT}(\text{mod}(S_{(m^2)} \times m - \frac{\theta_{1(m^1)}}{m^1} + 0,5, m)) \\ &= \text{INT}(\text{mod}(0,370 \times 4 - \frac{1,55}{4} + 0,5, 4)) \\ &= \text{INT}(1,59) \\ &= 1 \end{aligned} \quad (71)$$

15

Cuando se obtiene R_1 , el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^2)$ se obtiene a partir de la Fórmula (51) como en la fórmula siguiente (etapa 124).

[Expresión 79]

20

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^2)} &= \theta_{1(m^1)} + R_1 \times m^1 \\ &= 1,55 + 1 \times 4 = 5,55 \end{aligned}$$

El valor corregido del ángulo p_3' del tercer árbol giratorio correspondiente al valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^2)$ se obtiene a partir de la Fórmula (36) de la manera siguiente y se almacena en la memoria (etapa 126). El valor corregido de ángulo p_3' se utiliza para obtener el coeficiente R_2 cuando el valor del contador n es 4.

25

[Expresión 80]

$$\begin{aligned} p_3' &= \text{mod}((-\frac{3}{4})^2 \times \theta_{1(m^2)}, 1) \\ &= \text{mod}(\frac{9}{16} \times 5,55, 1) \\ &= \text{mod}(3,122, 1) = 0,122 \end{aligned}$$

30

Cuando el número n de árboles giratorios es 4, la función periódica $S(m^3)$ se obtiene a partir de la Fórmula (37) de la manera siguiente (etapa 122).
[Expresión 81]

$$\begin{aligned} S_{(m^3)} &= \text{mod}(k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2' + k_3 \times p_3' + k_4 \times p_4, 1) \\ &= \text{mod}(1 \times p_1 + 3 \times p_2' + 3 \times p_3' + 1 \times p_4, 1) \\ &= \text{mod}(1 \times 0,55 + 3 \times 0,838 + 3 \times 0,122 + 0,480, 1) \\ &= \text{mod}(3,91, 1) = 0,91 \end{aligned} \quad (72)$$

35

En la Fórmula (72), $k_1 = 1$, $k_2 = 3$, $k_3 = 3$, y $k_4 = 1$.

El coeficiente R_2 se calcula sustituyendo 0,91, 4 y 5,55 por $S(m^3)$, m , y $\theta_1(m^2)'$, respectivamente, en la Fórmula (65). El coeficiente R_2 se calcula de la manera siguiente para ser 3 (etapa 123).

5 [Expresión 82]

$$\begin{aligned} R_2 &= INT(\text{mod}(S_{(m^3)} \times m - \frac{\theta_{1(m^2)}'}{m^2} + 0,5, m)) \\ &= INT(\text{mod}(0,91 \times 4 - \frac{5,55}{16} + 0,5, 4)) \\ &= INT(\text{mod}(3,79, 4)) \\ &= 3 \end{aligned} \quad (73)$$

10 Cuando se obtiene R_2 , el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ se obtiene a partir de la Fórmula (52) de la manera siguiente (etapa 124).
[Expresión 83]

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^3)}' &= \theta_{1(m^2)}' + R_2 \times m^2 \\ &= 5,55 + 3 \times 16 \\ &= 53,55 \end{aligned}$$

15 El valor del contador n es 4, y el proceso de obtener un valor calculado del ángulo de rotación termina (etapa 125). Con los cálculos descritos anteriormente, el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ del primer árbol giratorio se calcula para ser 53,55. Como se describe en el párrafo 0095 anterior, los cálculos se basan en el supuesto de que el ángulo de rotación del primer árbol giratorio es 53,5 (rev). Un error en el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$, dado que el resultado del cálculo es solo 0,05 que se añade al valor detectado del ángulo del primer árbol giratorio, y no se acumulan errores de detección de los detectores de ángulo del segundo árbol giratorio y de los siguientes árboles giratorios.

Realización 3

25 Se describirá otro método de cálculo para obtener los coeficientes R_0 a R_{n-2} en la Fórmula (27). El método es el proceso de obtener un valor p_n detectado del ángulo de cada árbol giratorio y un valor corregido del ángulo corregido p_n' (Fórmula (36)) de cada árbol giratorio que se obtiene a partir de un ángulo de rotación múltiple calculado $\theta_1(m^{n-1})'$ obtenido por la Fórmula (27) y determinando los coeficientes R_0 a R_{n-2} de tal manera que el valor corregido del ángulo p_n' se aproxima más al valor p_n del ángulo detectado suponiendo que el valor detectado del ángulo p_n y el valor corregido del ángulo p_n' son sustancialmente iguales.

30 Que el valor calculado $\theta_1(m^{n-1})'$ del ángulo de rotación de un primer árbol giratorio puede ser expresado matemáticamente como la suma de un valor p_1 detectado del ángulo del primer árbol giratorio y el número de revoluciones de rotación múltiple del primer árbol giratorio, tal como se ha representado mediante la Fórmula (27), se ha descrito anteriormente. Cuando la Fórmula (27) se sustituye por el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ en la Fórmula (36), el valor corregido del ángulo p_n' puede representarse mediante la Fórmula (74) siguiente. El valor corregido del ángulo p_n' se aproxima al valor detectado del ángulo p_n .

[Expresión 84]

$$\begin{aligned} p_n' &= \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times (p_1 + (R_0 \times m^0 + R_1 \times m^1 + R_2 \times m^2 + \dots + \right. \\ &\quad \left. R_{n-2} \times m^{n-2}) \times u), u\right) \\ &= \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times (p_1 + \sum_{i=2}^n (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u), u\right) \\ &\approx p_n \end{aligned} \quad (74)$$

40 Obsérvese que la parte dentro de los paréntesis de la derecha en un cálculo de módulo en la Fórmula (74) anterior corresponde al valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ en la Fórmula (27).

En la Fórmula (74) anterior, puesto que el valor detectado del ángulo p_n es un ángulo dentro de una revolución que es detectado por un detector de ángulo unido a cada árbol giratorio, y los coeficientes R_0 a R_{n-2} son números enteros que van desde 0 a $m-1$ inclusive, el valor corregido del ángulo p_n' puede determinarse seleccionando apropiadamente los coeficientes R_0 a R_{n-2} , de tal manera que el valor corregido del ángulo p_n se aproxima aproximadamente al valor p_n detectado del ángulo. Por ejemplo, se puede determinar un valor corregido del ángulo p_2' de un segundo árbol giratorio a partir de un valor detectado del ángulo p_2 de la manera siguiente. Es decir, como se ve en la Fórmula (74), una fórmula de cálculo del valor corregido del ángulo se representa como:

[Expresión 85]

$$p_2' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^1 \times (p_1 + (R_0 \times m^0 \times u), u)\right)$$

El coeficiente integral R_0 dentro del intervalo $0 \leq R^0 < m$ puede seleccionarse apropiadamente de manera que un resultado de cálculo de la fórmula de cálculo de corrección de ángulos se aproxima más al valor detectado del ángulo p_2 . Mediante la sustitución del coeficiente R_0 determinado en la Fórmula (74), se obtiene el valor corregido del ángulo p_2' . El procesamiento descrito anteriormente se repite para $n = 2$ a n_{max} para determinar coeficientes R_0 a $R_{n_{\text{max}}-2}$. Se puede obtener finalmente un valor calculado $\theta_1(m_{n_{\text{max}}-1})'$ del ángulo de rotación de rotación múltiple del primer árbol giratorio mediante la sustitución en la Fórmula (27) de los coeficientes R_0 a $R_{n_{\text{max}}-2}$.

A partir de la ecuación (74) se obtendrá una ecuación para calcular los coeficientes R_0 a $R_{n_{\text{max}}-2}$. Cuando la deformación representada por la Fórmula (53) se sustituye en la Ecuación (74), el valor corregido del ángulo p_n' se representa mediante una fórmula de cálculo del valor corregido del ángulo en la Fórmula (75) siguiente.

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times (\theta_{1(m^{n-2})}' + R_{n-2} \times m^{n-2} \times u), u\right) \quad (75)$$

Cuando la Fórmula (75) se expande, el valor corregido del ángulo p_n' se representa como en la Fórmula (76).

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}' + \left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times R_{n-2} \times m^{n-2} \times u, u\right) \quad (76)$$

Cuando la Fórmula (76) se deforma más, el valor corregido del ángulo p_n' se representa como en la Fórmula (77) a continuación.

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}' + (-1 \mp \frac{1}{m})^{n-1} \times R_{n-2} \times m^{n-2} \times u, u\right) \quad (77)$$

Incluso si un valor numérico que es un múltiplo entero de un divisor se añade o se resta de un dividendo en una operación de módulo, no se afecta un resultado de la operación de módulo. El valor numérico se elimina así de la operación de módulo. Es decir, dejando que b sea un entero, se mantiene la relación $y = \text{mod}(a+b \times c, c) = \text{mod}(a, c)$. Puesto que R_{n-2} y m^{n-2} son ambos números naturales en la Fórmula (77), se suprime el término $-1 \times R_{n-2} \times m^{n-2} \times u$. Como resultado, la Fórmula (77) se deforma como en la Fórmula (78) a continuación.

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}' \mp \frac{1}{m} \times R_{n-2} \times u, u\right) \quad (78)$$

Puesto que el valor p_n detectado del ángulo es sustancialmente igual al valor corregido del ángulo p_n' , el valor p_n detectado del ángulo se representa como en la Fórmula (79) siguiente.

$$p_n \approx p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}' \mp \frac{1}{m} \times R_{n-2} \times u, u\right) \quad (79)$$

Dado que la relación entre el valor p_n detectado del ángulo y el coeficiente R_{n-2} se deriva como en la Fórmula (79) anterior, el coeficiente R_{n-2} puede obtenerse de la manera siguiente de acuerdo con la definición de operación del módulo. Generalmente, una operación de módulo que obtiene un resto y que queda cuando $a \pm b$ se divide por c se

representa por $y = \text{mod}(a \pm b, c)$, y la expresión $a \pm b = n \times c + y$ se mantiene. En la expresión, n es un entero, e y y cae dentro del intervalo $0 \leq y < c$. Cuando a se mueve hacia la derecha, la expresión cambia a $\pm b = n \times c + y - a$. Una operación de módulo que obtiene un resto restante cuando ambos lados de la expresión se dividen por c puede expresarse como $\text{mod}(\pm b, c) = \text{mod}(n \times c + y - a, c)$. Como se describe en el párrafo 0119, el término $n \times c$ dentro de los paréntesis se puede suprimir, la expresión anterior se puede organizar en $\text{mod}(\pm b, c) = \text{mod}(y - a, c)$. Si b está dentro del intervalo $0 \leq b < c$, $b = \text{mod}(\pm(y - a), c)$ se mantiene. Una fórmula para obtener el coeficiente R_{n-2} a partir de la Fórmula (79) usando la relación se deriva de la manera siguiente.

Como se describe en el párrafo 0072, el coeficiente R_{n-2} en la Fórmula (79) está dentro del intervalo $0 \leq R_{n-2} < m$, y $0 \leq (1/m) \times R_{n-2} \times u < u$ se mantiene. En consecuencia, si p_n , $(-(m \pm 1)/m)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}'$, $(1/m) \times R_{n-2} \times u$, y u en la fórmula (79) se toma como y , a , b , y c , respectivamente, $\text{mod}(\pm b, c) = \text{mod}(y - a, c)$ se puede calcular como $b = \text{mod}(\pm(y - a), c)$ cuando b se encuentra dentro del intervalo $0 \leq b < c$, como se ha descrito anteriormente. Es decir, $(1/m) \times R_{n-2} \times u$ en la operación de módulo de Fórmula (79) se obtiene mediante la Fórmula (80) siguiente.

$$\begin{aligned} \frac{1}{m} \times R_{n-2} \times u &\approx \text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') , u) \\ R_{n-2} &\approx \text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') , u) \times \frac{m}{u} \end{aligned} \quad (80)$$

Dado que $\text{mod}(a, c) \times b = \text{mod}(a \times b, c \times b)$ se mantiene en la operación del módulo, el lado derecho de la Fórmula (80) anterior puede deformarse adicionalmente como en la Fórmula (81) a continuación.

$$R_{n-2} \approx \text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') \times \frac{m}{u}, m) \quad (81)$$

El coeficiente R_{n-2} se obtiene mediante la Fórmula (81). Sin embargo, como el coeficiente R_{n-2} es un número entero, se redondea un resultado de cálculo de la Fórmula (81) anterior. El redondeo al número entero más próximo se puede lograr sumando 0,5 al resultado del cálculo y realizando una operación de módulo para generar un retorno, tal como se muestra en la Fórmula (82) siguiente. Debe tenerse en cuenta que $\text{INT}(X)$ es un operador que deja caer una parte fraccionaria de X .

$$R_{n-2} = \text{INT}(\text{mod}(\text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') \times \frac{m}{u}, m) + 0,5, m) \quad (82)$$

Dado que en la actualidad se mantiene $\text{mod}(\text{mod}(a, c) + b, c) = \text{mod}(a + b, c)$, la Fórmula (82) se deforma como en la Fórmula (83), y se puede reducir una operación de módulo.

$$R_{n-2} = \text{INT}(\text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') \times \frac{m}{u} + 0,5, m) \quad (83)$$

Dado que se obtiene una fórmula de cálculo para calcular el coeficiente R_{n-2} mediante la Fórmula (83) anterior, R_0 , R_1 y R_2 se obtienen a partir de la Fórmula (83) usando los mismos valores detectados (párrafo 0098) de los respectivos árboles giratorios como los de la Realización 2, R_0 , R_1 y R_2 se sustituyen en la Fórmula (27), y se calcula un ángulo de rotación calculado $\theta_1(m^3)'$ del primer árbol giratorio. Supongamos en el ejemplo de cálculo siguiente que una cantidad unitaria de base u es 1000 y que los valores detectados p_1 , p_2 , p_3 y p_4 de los árboles giratorios respectivos son 550, 925, 144 y 480, respectivamente.

Los procedimientos para calcular los coeficientes R_0 , R_1 , y R_2 son como se describe a continuación. Como se muestra en el diagrama de flujo en la figura 13, en primer lugar, se establece el número n_{max} de árboles giratorios (en 4 en el ejemplo posterior), y un valor de contador n se establece en 2 (etapa 131). Cuando el valor de contador n es 2, en la Fórmula (83) se sustituyen el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^0)'$ ($= p_1$) y el valor detectado del ángulo p_2 y se calcula el coeficiente R_0 . El coeficiente R_0 se almacena en una memoria para ser utilizado en el momento del cálculo de un siguiente valor calculado del ángulo de rotación (etapa 132). Cuando se obtiene el coeficiente R_0 , el valor detectado del ángulo p_1 y el coeficiente R_0 se sustituyen en la Fórmula (27), y se calcula y almacena en la memoria (etapa 133) un valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^1)'$. El valor del contador n se incrementa en 1 y el flujo vuelve a la etapa 132 (etapa 134). El proceso de cálculo anteriormente descrito se repite

para el valor de contador $n = 3$ y 4 , y se obtienen los coeficientes R_1 y R_2 . Finalmente, se calcula el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ (etapa 133). Si el valor del contador n está por encima de $n_{\max}$, el cálculo que obtiene un valor calculado del ángulo de rotación termina (etapa 134). Las etapas cuando el número de árboles giratorios es 4 han sido descritas esquemáticamente anteriormente. Incluso si el número de árboles giratorios es superior a 4 , se repiten los mismos procesos, se obtienen secuencialmente los coeficientes R_0 a R_{n-2} y finalmente se calcula el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$. Las etapas descritas anteriormente se describirán en detalle a continuación.

En primer lugar, el número $n_{\max}$ de árboles giratorios se establece en 4 y el valor de contador n se establece en 2 (etapa 131). Cuando $n = 2$ se sustituye en la Fórmula (83), el coeficiente R_0 se obtiene mediante la Fórmula (84) siguiente (etapa 132).
[Expresión 95]

$$R_{2-2} = INT(\text{mod}(\mp(p_2 - (-\frac{m \pm 1}{m})^{2-1} \times \theta_{1(m^{2-2})}') \times \frac{m}{u} + 0,5, m)) \quad (84)$$

Cuando 925 , $550 (= p_1)$, 4 y 1000 son sustituidos por p_2 , $\theta_1(m^0)'$, m , y u , respectivamente, en la Fórmula (84) suponiendo que un engranaje conducido es más lento que un engranaje de accionamiento entre árboles giratorios, se obtiene la Fórmula (85).
[Expresión 96]

$$R_0 = INT(\text{mod}(+(925 - (-\frac{3}{4})^1 \times 550) \times \frac{4}{1000} + 0,5, 4)) \quad (85)$$

El coeficiente R_0 calculado se almacena en la memoria para su posterior procesamiento.

A partir de la Fórmula (50), el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^1)'$ se representa como:
[Expresión 97]

$$\theta_{1(m^1)}' = p_1 + (R_0 \times m^0) \times u \quad (86)$$

Cuando 550 , 1 , 4 y 1000 son sustituidos por p_1 , R_0 , m y u , respectivamente en la Fórmula (86), el ángulo de rotación calculado $\theta_1(m^1)'$ se calcula como en la fórmula siguiente y se almacena en la memoria (etapa 133).

[Expresión 98]

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^1)}' &= 550 + (1 \times 1) \times 1000 \\ &= 1550 \end{aligned}$$

El valor del contador n se incrementa en 1 ($n = 3$) y el flujo vuelve a la etapa 132 (etapa 134). Cuando $n = 3$ se sustituye en la Fórmula (83), el coeficiente R_1 se obtiene mediante la Fórmula (87) siguiente.

[Expresión 99]

$$R_{3-2} = INT(\text{mod}(\mp(p_3 - (-\frac{m \pm 1}{m})^{3-1} \times \theta_{1(m^{3-2})}') \times \frac{m}{u} + 0,5, m)) \quad (87)$$

Cuando 144 , 1550 , 4 y 1000 son sustituidos adicionalmente por p_3 , $\theta_1(m^1)'$, m , y u , respectivamente, en la fórmula anterior, el coeficiente R_1 se obtiene mediante la Fórmula (88) a continuación (etapa 132).

[Expresión 100]

$$\begin{aligned}
 R_1 &= INT(\text{mod}(+(144 - (-\frac{3}{4})^2 \times 1550) \times \frac{4}{1000} + 0,5,4)) \\
 &= INT(\text{mod}(\frac{(144 - 872) \times 4}{1000} + 0,5,4)) \\
 &= INT(\text{mod}(-2,91 + 0,5,4)) \\
 &= INT(\text{mod}(-2,41,4)) \\
 &= INT(1,59) \\
 &= 1
 \end{aligned} \tag{88}$$

5 El coeficiente R_1 es 1, y el valor se almacena en la memoria para su procesamiento posterior (etapa 132).

A partir de la Fórmula (51), el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^2)'$ se representa como:
[Expresión 101]

$$10 \quad \theta_{1(m^2)}' = \theta_{1(m^1)}' + R_1 \times m^1 \times u \tag{89}$$

Cuando en la Fórmula (89) se sustituyen 1550, 1, 4 y 1000 por $\theta_1(m^1)'$, R_1 , m y u , se calcula el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^2)'$ como en la siguiente fórmula (etapa 133).

15 [Expresión 102]

$$\begin{aligned}
 \theta_{1(m^2)}' &= 1550 + 1 \times 4^1 \times 1000 \\
 &= 5550
 \end{aligned}$$

20 El valor del contador n se incrementa en 1 ($n = 4$) y el proceso vuelve a la etapa 132 (etapa 134). Cuando $n = 4$ se sustituye en la Fórmula (83), el coeficiente R_2 se obtiene mediante la Fórmula (90) siguiente.
[Expresión 103]

$$R_{4-2} = INT(\text{mod}(\mp(p_4 - (-\frac{m \pm 1}{m})^{4-1} \times \theta_{1(m^{4-2})}') \times \frac{m}{u} + 0,5, m)) \tag{90}$$

25 Cuando 480, 5550, 4 y 1000 son sustituidos adicionalmente por p_4 , $\theta_1(m^2)'$, m , y u , respectivamente, en la fórmula anterior, el coeficiente R_2 se obtiene mediante la Fórmula (91) a continuación (etapa 132).
[Expresión 104]

$$\begin{aligned}
 R_2 &= INT(\text{mod}(+(480 - (-\frac{3}{4})^3 \times 5550) \times \frac{4}{1000} + 0,5,4)) \\
 &= INT(\text{mod}(\frac{(480 + 2341) \times 4}{1000} + 0,5,4)) \\
 &= INT(\text{mod}(11,28 + 0,5,4)) \\
 &= INT(\text{mod}(11,78,4)) \\
 &= INT(3,78) \\
 &= 3
 \end{aligned} \tag{91}$$

30 El coeficiente R_2 es 3, y el valor se almacena en la memoria para su procesamiento posterior (etapa 132).

A partir de la fórmula (52), $\theta_1(m^3)'$ se representa como:
[Expresión 105]

$$\theta_{1(m^3)}' = \theta_{1(m^2)}' + R_2 \times m^2 \times u \quad (92)$$

Cuando en la fórmula (92) se sustituyen 5550, 3, 4 y 1000 por $\theta_1(m^2)'$, R_2 , m y u , se calcula el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)'$ como en la siguiente fórmula (etapa 133).

[Expresión 106]

$$\begin{aligned} \theta_{1(m^3)}' &= 5550 + 3 \times 4^2 \times 1000 \\ &= 53550 \end{aligned}$$

Como resultado, el valor calculado $\theta_1(m^3)'$ del ángulo de rotación del primer árbol giratorio que se calcula mediante el método según la realización 3 es 53550 (la cantidad de unidad de base $u = 1000$). El valor calculado del ángulo de rotación es equivalente al valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^3)' = 53,55$ (la cantidad unitaria de base $u = 1$) del primer árbol giratorio que se obtiene en la realización 2.

Realización 4

Se describirá una cuarta realización de acuerdo con la presente invención. La figura 14 muestra un diagrama de bloques de un dispositivo de detección de ángulos 70 que detecta un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple de un árbol giratorio de salida 142 de un motor 141. El principio de obtener el ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple del árbol giratorio de salida 142 es básicamente el mismo que el de la primera realización. Antes de describir el principio, se describirá la configuración del dispositivo de detección de ángulos 140.

Haciendo referencia a la figura 14, un engranaje 143a que tiene 21 dientes está fijado a un primer árbol giratorio 143 que está acoplado al motor 141 en el lado opuesto al árbol giratorio de salida 142, y un resolucionador 4X S1 está unido al primer árbol giratorio 143 para detectar un ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio 143. El resolucionador 4X S1 emite una tensión sinusoidal correspondiente al ángulo de rotación del primer árbol giratorio 143 y suministra una tensión sinusoidal cuyos cuatro ciclos corresponden a una revolución del primer árbol giratorio 143.

El engranaje 143a está engranado con un engranaje 144a que tiene 20 dientes, que está fijado a un segundo árbol giratorio 144. Un resolucionador 1X S2 está unido al segundo árbol giratorio 144 para detectar un ángulo de rotación θ_2 del segundo árbol giratorio 144. Un engranaje 144b que tiene 21 dientes está fijado también al segundo árbol giratorio 144 y está engranado con un engranaje 145a que tiene 20 dientes que está fijado a un tercer árbol giratorio 145. Un resolucionador 1X S3 está unido al tercer árbol giratorio 145 para detectar un ángulo de rotación θ_3 del tercer árbol giratorio 145. Los engranajes 144a y 144b que están fijados al segundo árbol giratorio 144 son engranajes de resina formados integralmente y pueden estar formados integralmente con el árbol giratorio.

A modo de ejemplo, el dispositivo de detección de ángulo 140 con la configuración anteriormente descrita transmite la revolución del motor mediante los engranajes fijados a los tres árboles giratorios y calcula un ángulo de rotación absoluto del árbol giratorio del motor desde los ángulos de rotación de los respectivos árboles giratorios. Seleccionando los respectivos números de dientes de los engranajes de modo que la relación de cambio entre engranajes engranados entre sí sea $(m \pm 1)/m$, el ángulo de rotación absoluto del árbol giratorio del motor se calcula mediante la siguiente fórmula de cálculo.

Si la relación de cambio entre árboles giratorios adyacentes se ajusta a $(m+1)/m$, se obtiene un ángulo de rotación θ_n de cada árbol giratorio mediante:

[Expresión 107]

$$\theta_n = \left(-\frac{m+1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1 = \left(-1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1$$

Dado que los detectores de ángulo S1 a S3 detectan los ángulos de rotación del primer a tercer árboles giratorios 143 a 145, los valores detectados p_1 a p_3 desde los detectores de ángulo S1 a S3 pueden expresarse mediante las fórmulas (93) a (95), como se muestra en la Fórmula (6) utilizada en la primera realización. Obsérvese que, dado que el detector de ángulo S1 es un detector 4X que emite un valor detectado durante 4 ciclos, mientras que el árbol giratorio gira una vez, una cantidad detectada u_1 por ciclo del primer árbol giratorio 73 se ajusta a 0,25. Puesto que los detectores de ángulo S2 y S3 son detectores 1X, las cantidades detectadas u_2 y u_3 por un ciclo se establecen en

1.
[Expresión 108]

$$p_1 = \text{mod}(1 \times \theta_1, u_1) = \text{mod}(1 \times \theta_1, 0,25) \quad (93)$$

5
[Expresión 109]

$$p_2 = \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, u_2\right) = \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, 1\right) \quad (94)$$

10 [Expresión 110]

$$p_3 = \text{mod}\left(\left(1 + \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1, u_3\right) = \text{mod}\left(\left(1 + \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1, 1\right) \quad (95)$$

15 Para calcular un ángulo de rotación absoluto del primer árbol giratorio 143, las cantidades detectadas u por ciclo de los árboles giratorios respectivos necesitan igualarse. Los valores detectados de los segundos y terceros árboles giratorios 144 y 145 se convierten a 4X, como en las Fórmulas (96) y (97).
[Expresión 111]

$$p_2' = \text{mod}\left(\left(-1 - \frac{1}{m}\right) \times \theta_1, 0,25\right) \quad (96)$$

20
[Expresión 112]

$$p_3' = \text{mod}\left(\left(1 + \frac{2}{m} + \frac{1}{m^2}\right) \times \theta_1, 0,25\right) \quad (97)$$

25 A la luz de u ajustado a 0,25, se asume una señal periódica cuyo ciclo corresponde a m/4 revoluciones del primer árbol giratorio. Una fórmula de módulo que representa la señal periódica puede expresarse como:

[Expresión 113]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{m} \times \theta_1, 0,25\right)$$

30 La fórmula de módulo se puede deformar usando los valores detectados p_1 y p_2' del primer y segundo árboles giratorios 143 y 144, como en la Fórmula (98).
[Expresión 114]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{m} \times \theta_1, 0,25\right) = \text{mod}\left(-\left(p_1 + p_2'\right), 0,25\right) \quad (98)$$

40 Asumiendo una señal periódica cuyo ciclo corresponde a $m^2/4$ revoluciones del primer árbol giratorio, una fórmula de módulo que representa la señal periódica puede expresarse como:

[Expresión 115]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{m^2} \times \theta_1, 0,25\right)$$

45 La fórmula de módulo se puede deformar usando los valores p_1 , p_2' y p_3' detectados del primer a tercer árboles giratorios 143 a 145, como en la Fórmula (99).

[Expresión 116]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{m^2} \times \theta_1, 0,25\right) = \text{mod}(p_1 + 2p_2' + p_3', 0,25) \quad (99)$$

- 5 Cuando m = 20 se sustituye en la Fórmula (99), la Fórmula (99) se puede representar como en la Fórmula (100).
[Expresión 117]

$$\text{mod}\left(\frac{1}{400} \times \theta_1, 0,25\right) = \text{mod}(p_1 + 2p_2' + p_3', 0,25) \quad (100)$$

- 10 Si se multiplican por 400 los dos lados de la Fórmula (100), se obtiene la Fórmula (101).
[Expresión 118]

$$\theta_c = \text{mod}(\theta_1, 100) = \text{mod}(p_1 + 2p_2' + p_3', 0,25) \times 400 \quad (101)$$

- 15 Como se observa a partir de la Fórmula (101), cuando el primer árbol giratorio gira 100 veces, se obtiene una señal para un ciclo. Se puede detectar un ángulo de rotación absoluto para 100 revoluciones. Como se muestra en la figura 14, un engranaje 146 reduce el número de revoluciones del árbol giratorio de salida 142 del motor 141 a una centésima. Como resultado, una relación de engranaje de reducción y un intervalo de detección de rotación múltiple son coherentes entre sí. Esto permite que el dispositivo de detección de ángulo 140 detecte un ángulo de rotación absoluto para una revolución de un árbol de salida de engranaje 147.

20 Dado que se obtiene la relación mostrada en la Fórmula (10), tal como se ha descrito anteriormente, la realización mostrada en la figura 14 puede detectar un ángulo de rotación absoluto para 100 revoluciones. Generalmente, si se utiliza un detector de ángulo NX, se obtiene un intervalo de detección de rotación múltiple cuyo extremo superior está representado por m^{n-1}/N .

25 Se puede obtener un valor detectado NX mediante cálculo a partir de un valor detectado 1X. Incluso sin el uso real de un detector de ángulo NX, es posible reducir un intervalo de detección de rotación múltiple a $1/N$ para adaptarse a un intervalo de detección de rotación múltiple requerido para una aplicación que utiliza un dispositivo de detección del ángulo de rotación.

30 Dependiendo de la relación de cambio de $(m \pm 1)/m$, el cálculo de:
[Expresión 119]

$$\text{mod}\left(\left(\frac{1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1, u\right) = \text{mod}((k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2 + \dots + k_n \times p_n), u) \quad (102)$$

35 También puede realizarse sin consideración de los coeficientes k_1 a k_n en la expansión del binomio $(x+1)^{n-1}$.

40 Por ejemplo, supongamos que $m = 3$, es decir, $m-1 = 2$ se mantiene. Si se detecta un ángulo de rotación hasta $m^3 = 27$ revoluciones utilizando una señal detectada de un cuarto árbol giratorio, el cálculo puede realizarse no solo mediante $\theta_c = \text{mod}(p_1 + 3p_2 + 3p_3 + p_4, 1) \times m^3$, sino también mediante $\theta_c = \text{mod}(p_1 + p_2 + p_4, 1) \times m^3$.

45 Obsérvese que los valores p_n detectados de los árboles giratorios respectivos incluyen no solo un valor obtenido procesando directamente una señal desde un detector, sino también un valor obtenido convirtiendo una señal a una señal con un periodo diferente. Aunque la realización descrita anteriormente realiza el proceso de convertir cada uno de los valores detectados del segundo y tercer árboles giratorios de una señal de largo periodo (señal 1X) a una señal de corto periodo (señal 4X), el proceso de generación de una señal 1X de un primer árbol a partir de una combinación de un detector nX del primer árbol y un detector 1X con una relación de cambio diferente de un segundo árbol, como se describe en la patente japonesa n.º 3967963 descrita anteriormente. En la descripción anterior, un ángulo de rotación de un árbol giratorio de número impar se trata como positivo, un árbol giratorio de número par se trata como negativo y los ángulos de rotación se suman. Sin embargo, incluso si los ángulos de rotación se tratan como positivos y cada ángulo de rotación se añade o se resta en una dirección de rotación, se obtiene el mismo resultado.

55 La figura 15 es un diagrama de bloques de un dispositivo de detección de ángulo de rotación 150 para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple θ_c del motor 141 sobre la base de la cuarta realización mostrada en la figura 14. En la figura 15, elementos iguales o similares a los elementos mostrados en la figura 14 se indican con los mismos números de referencia.

La cuarta realización mostrada en la figura 15 es básicamente la misma que la primera realización mostrada en la figura 3, excepto que el número de árboles giratorios es de 3, que se usa un resolucionador como un detector de ángulo y que el engranaje 1/100 está acoplado al árbol de salida del motor 141.

Haciendo referencia a la figura 15, el engranaje 143a que tiene 21 dientes está fijado al primer árbol giratorio 143 que está acoplado al motor 141 en el lado opuesto al árbol giratorio de salida 142, y el resolucionador 4X S1 está unido al primer árbol giratorio 143. El engranaje 143a está engranado con el engranaje 144a que tiene 20 dientes, que está fijado al segundo árbol giratorio 144. La relación de cambio entre el engranaje 143a y el engranaje 144a es de 21/20. El engranaje 144b que tiene 20 dientes está fijado también al segundo árbol giratorio 144 y está engranado con el engranaje 144a que tiene 19 dientes que está fijado al tercer árbol giratorio 145. Los resolucionadores 1X S2 y S3 están unidos al segundo y al tercer árbol giratorio, respectivamente.

La figura 16 muestra las relaciones entre el ángulo de rotación del primer árbol giratorio y los ángulos de rotación de los otros árboles giratorios. Como se muestra en la figura 16, puesto que las relaciones de cambio entre el engranaje 143a y el engranaje 144a y entre el engranaje 144b y el engranaje 145a son 21/20, los ángulos de rotación del segundo y tercer árboles giratorios son mayores que el del primer árbol giratorio.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 15, dos tensiones sinusoidales detectadas (un componente de seno y un componente de coseno) de cada uno de los resolucionadores S1 a S3 se envían a un convertidor AD 153 de un circuito de procesamiento de señales 152 a través de una línea de señal 151a, 151b, o 151c. El convertidor AD 153 convierte las tensiones detectadas en valores digitales, que se envían a un circuito de cálculo de conversión RD 154. El circuito de cálculo de conversión RD 154 calcula un ángulo a partir de los dos valores digitales recibidos (el componente de seno y el componente de coseno) y somete las tensiones detectadas a diversos tipos de corrección de exactitud, como el circuito informático de conversión RD 38 de acuerdo con la primera realización. Los valores angulares detectados p_1 , p_2 y p_3 sometidos a los procesos son enviados a un circuito de cálculo de rotación múltiple 155 y el ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple θ_c se calcula mediante la Fórmula (101).

La figura 17 muestra los valores p_1 , p_2 y p_3 detectados del ángulo del primer a tercero árboles giratorios que se obtienen con respecto al número de revoluciones del primer árbol giratorio mediante el circuito de cálculo de conversión RD 154. La línea inferior de la figura 17 muestra el valor detectado del ángulo de rotación del primer árbol giratorio desde el resolucionador 4X. Un resolucionador 4X detecta las tensiones detectadas durante 4 ciclos cuando un árbol a detectar gira una vez. Por consiguiente, cuando el primer árbol giratorio gira una vez, se emiten tensiones detectadas para cuatro ondas de diente de sierra. La línea media y la línea superior de la figura 17 muestran tensiones detectadas de los resolucionadores S2 y S3, respectivamente, que representan los ángulos de rotación del segundo y tercer árboles giratorios. Puesto que los resolucionadores S2 y S3 son resolucionadores 1X, cada resolucionador emite tensiones detectadas para un ciclo cuando el árbol giratorio gira una vez.

La figura 18 muestra señales periódicas con respecto al número de revoluciones del primer árbol giratorio que se obtienen mediante las Fórmulas (98) y (99). Las ondas de señal en la parte inferior de la figura 18 representan una señal periódica cuyo ciclo corresponde a 5 revoluciones del primer árbol giratorio y que se obtiene mediante la Fórmula (98). Es decir, la señal periódica se calcula sobre la base de los valores p_1 y p_2 detectados del ángulo detectados por los resolucionadores S1 y S2. Las ondas de señal en la parte superior de la figura 18 representan una señal periódica cuyo ciclo corresponde a 100 revoluciones del primer árbol giratorio y que se obtiene mediante la Fórmula (99). Es decir, la señal periódica se calcula sobre la base de los valores p_1 , p_2 y p_3 detectados del ángulo detectados por los resolucionadores S1, S2 y S3. Como se ha descrito anteriormente, se puede obtener el ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple θ_c del primer árbol giratorio a partir del ángulo detectado p_1 , p_2 y p_3 que son detectados por los resolucionadores S1, S2 y S3, respectivamente, mediante la Fórmula (101).

En la realización 1 anterior, se utiliza un codificador óptico como detector de ángulo del primer árbol giratorio, y se utilizan sensores de ángulo de rotación MR que utilizan elementos MR como detectores de ángulo del segundo árbol giratorio al cuarto árbol giratorio. En la realización 4, se usan los resolucionadores. Sin embargo, la realización de la presente invención no limita los tipos de los detectores de ángulos. Los engranajes se utilizan como el mecanismo de transmisión. Los medios para cambiar los ángulos de rotación, sin embargo, no se limitan a engranajes, y ejemplos de los medios incluyen una transmisión tal como una correa, una cadena o un accionamiento de tracción. Dado que $(m \pm 1)/m$ descrito anteriormente representa una relación de cambio, y las realizaciones se han descrito utilizando engranajes como mecanismo de transmisión, m y $m \pm 1$ corresponden al número de dientes de engranajes. Los términos, sin embargo, no se limitan al número de dientes de los engranajes.

Realización 5

La figura 19 es un diagrama de bloques de configuración de un mecanismo de transmisión 190 de un dispositivo de detección de ángulos de rotación de acuerdo con una quinta realización de la presente invención. El mecanismo de transmisión 190 es un mecanismo de transmisión que se obtiene proporcionando los mecanismos de transmisión 10 mostrados en la figura 1 en paralelo y está constituido por un mecanismo de engranaje 191 en un primer sistema y un mecanismo de engranaje 192 en un segundo sistema. Un engranaje 194a que está unido a un árbol giratorio del motor 194 de un motor 193 está engranado con un engranaje 195a que está unido a un primer árbol giratorio 195 y

la relación de engranaje entre el árbol giratorio del motor 194 y el primer árbol giratorio 195 es 1:N. En la realización mostrada en la figura 19, el primer árbol giratorio 195 es un componente del mecanismo de engranaje común a los mecanismos de engranaje 191 y 192 en el primer y segundo sistemas. Sin embargo, el primer árbol giratorio 195 no tiene que ser común.

El mecanismo de engranaje 191 en el primer sistema transmite la revolución del motor desde el primer árbol giratorio 195 al segundo y tercer árboles giratorios 196 y 197. Un engranaje 195b del primer árbol giratorio 195 engrana con un engranaje 196a del segundo árbol giratorio 196 y un engranaje 196b del segundo árbol giratorio 196 engrana con un engranaje 197a del tercer árbol giratorio 197. Los ángulos de rotación del primer a tercer árboles giratorios son detectados mediante los detectores angulares S1 a S3, respectivamente. La relación de cambio entre los engranajes engranados juntos del mecanismo de engranajes 141 en el primer sistema se ajusta a $(m_1 \pm 1)/m_1$.

Como se muestra en la figura 19, en el mecanismo de engranaje 192 en el segundo sistema, los engranajes 198a, 198b y 199a están unidos al cuarto y quinto árboles giratorios 198 y 199. La revolución del motor 193 se transmite desde un engranaje 195c del primer árbol giratorio 195 al engranaje 199a a través de los engranajes 198a y 198b. Los ángulos de rotación del primer y segundo árboles giratorios son detectados mediante los detectores angulares S3 y S4, respectivamente. La relación de cambio entre los engranajes engranados juntos del mecanismo de engranajes 192 en el segundo sistema se ajusta a $(m_2 \pm 1)/m_2$.

La revolución del motor 193 se reduce a 1/N a través del engranaje 194a y del engranaje 195a y se transmite al primer árbol giratorio 195. La revolución del primer árbol giratorio 195 se transmite desde el engranaje 195b al mecanismo de engranaje 191 en el primer sistema y desde el engranaje 195c al mecanismo de engranaje 192 en el segundo sistema. Las señales periódicas que se obtienen sobre la base de los valores de detección de ángulo detectados por los detectores de ángulo S1 a S3 del mecanismo de engranaje 191 en el primer sistema y los detectores de ángulo S1, S4 y S5 del mecanismo de engranaje 192 en el segundo sistema se calculan mediante el mismo método de cálculo que el método de cálculo de señal periódica descrito en la primera realización. Es como se describe en la patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2002-107178 y la patente japonesa n.º 3967963 que, si los períodos obtenidos en sistemas respectivos son relativamente primos entre sí, se puede detectar el número de revoluciones correspondiente a un período que es el múltiplo menos común de los períodos. De acuerdo con ello, por ejemplo, si las señales periódicas del primer y segundo sistemas tienen períodos de C_1 y C_2 , respectivamente, se pueden detectar rotación múltiple correspondientes al múltiplo menos común de C_1 y C_2 generando una señal con un periodo que es el múltiplo menos común.

Supongamos que, en el mecanismo de transmisión 190 de la figura 19, m_1 es 15, m_2 es 16 y N es 10. En este caso, el número de revoluciones de rotación múltiple que puede detectarse mediante el mecanismo de transmisión 190 es como sigue. Dado que el mecanismo de engranaje 191 en el primer sistema y el mecanismo de engranaje 192 en el segundo sistema están constituidos cada uno por tres árboles giratorios, el mecanismo de engranaje 191 y 192 puede producir una señal periódica con un periodo de $m_1^2 = 225$ y un mecanismo periódico con un periodo de $m_2^2 = 256$, respectivamente, tal como se describe en el párrafo 0038. Los períodos son relativamente primos entre sí, y el múltiplo menos común de los períodos es $225 (\text{período}) \times 256 (\text{período}) = 57.600 (\text{período})$. Dado que el primer árbol giratorio 195 se reduce en velocidad a 1/10 del árbol giratorio del motor 194, un intervalo de detección de rotación múltiple detectable del árbol giratorio del motor es 10 veces, hasta 576.000 revoluciones.

Como se ha descrito anteriormente, en la quinta realización, se proporcionan en paralelo los mecanismos de transmisión según la primera realización e intervalos de detección de los números de revoluciones o periodos de señales periódicas que se obtienen a partir de los respectivos mecanismos de transmisión previstos en paralelo se establecen para ser relativamente primos entre sí. Con esta configuración, se puede expandir fácilmente un intervalo de detección de rotación múltiple de un dispositivo de detección de ángulo de rotación. Aunque se proporcionan dos mecanismos de transmisión paralelos en la quinta realización, si se proporcionan más mecanismos de transmisión paralelos, se puede conseguir un dispositivo de detección de ángulo de rotación con un intervalo de detección de ángulo de rotación de rotación múltiple más amplio.

Se observa que, en las realizaciones anteriores, se utiliza un codificador óptico como detector de ángulo del primer árbol giratorio, y se utilizan sensores de ángulo de rotación MR que utilizan elementos MR como detectores de ángulo del segundo al cuarto árboles giratorios. Sin embargo, la realización de la presente invención no limita los tipos de los detectores de ángulos. Los engranajes se utilizan como el mecanismo de transmisión. Los medios para cambiar los ángulos de rotación, sin embargo, no se limitan a engranajes, y ejemplos de los medios incluyen una transmisión tal como una correa, una cadena o un accionamiento de tracción. Dado que $(m \pm 1)/m$ descrito anteriormente representa una relación de cambio, y las presentes realizaciones se han descrito utilizando engranajes como mecanismo de transmisión, m y $m \pm 1$ corresponden al número de dientes de engranajes. Los términos, sin embargo, no se limitan al número de dientes de los engranajes.

Las presentes realizaciones han ilustrado casos en los que una cantidad unitaria de base u para la detección del ángulo de rotación es 1 (rev) o 1000 (pulso/rev). Se puede utilizar cualquier cantidad unitaria, tal como $u = 360(^{\circ})$, siempre y cuando las cantidades unitarias de base para los árboles giratorios respectivos sean las mismas.

Las presentes realizaciones han ilustrado también un caso en el que se utiliza un detector con un multiplicador de ángulo de eje de 1X (que emite una señal para un ciclo cuando un árbol giratorio gira una vez). Incluso en el caso de que se utilice un detector con un multiplicador de ángulo de eje de nX (que emite una señal para n ciclos cuando un árbol giratorio gira una vez), también es posible el cálculo de un ángulo de rotación de rotación múltiple. En este caso, un intervalo de detección del ángulo de rotación de rotación múltiple es $1/n$. Debe tenerse en cuenta que incluso si se utilizan detectores con diferentes multiplicadores de ángulo de árbol, se puede calcular un ángulo de rotación de rotación múltiple realizando un procesamiento de cálculo que iguale todas las cantidades de unidad de base.

10 **Explicaciones de los números de referencia**

árbol giratorio: 11 a 15, 23 a 26, 143 a 145, 194 a 199
 engranaje: 11a, 12a, 12b, 13a, 13b, 14a, 14b, 23a, 24a, 24b, 25a, 25b, 26a, 26b, 143a, 144a, 145a, 194a, 195a, 195b, 196a, 196b, 197a, 198a, 198b, 199a
 motor: 21, 141, 193
 codificador absoluto óptico: 22
 circuito de procesamiento de señales: 28, 152
 imán: 29a, 29b, 29c
 sensor de ángulo de rotación MR: 30a, 30b, 30c
 detector de ángulo: S1 a Sn

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple, que comprende:

- 5 un mecanismo de transmisión adaptado para transmitir una revolución desde un primer árbol giratorio del primer al nmax-ésimo árboles giratorios hasta el nmax-ésimo árbol giratorio, en donde un ángulo de rotación θ_n de un n-ésimo árbol giratorio satisface la siguiente relación con un ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio:

$$\theta_n = \left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1,$$

- 10 donde los valores numéricos nmax y m son números enteros no inferiores a 3, y un valor numérico n está dentro del intervalo $1 \leq n \leq nmax$;
un detector de ángulo adaptado para detectar valores detectados de ángulo p_1 a p_{nmax} dentro de una revolución del primer árbol giratorio al nmax-ésimo árbol giratorio; y
15 una unidad de cálculo adaptada para calcular un valor calculado de ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple $\theta_1(m^{nmax-1})'$ del primer árbol giratorio sobre la base de los valores detectados del ángulo p_1 a p_{nmax} , en donde la unidad de cálculo determina secuencialmente valores de un coeficiente R_0 a un coeficiente R_{nmax-2} repitiendo, para el valor numérico $n = 2$ a $nmax$, un proceso de determinación de un coeficiente R_{n-2} a partir de un valor calculado de ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-2})'$ y el valor detectado del ángulo p_n del n-ésimo árbol giratorio y calculando un valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ mediante una fórmula de cálculo del ángulo de rotación:

$$\theta_{1(m^{n-1})}' = p_1 + \sum_{i=2}^n (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u$$

- 25 sobre la base del coeficiente R_{n-2} determinado y se obtiene el valor calculado del ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple $\theta_1(m^{nmax-1})'$ del primer árbol giratorio, siendo los coeficientes R_0 a R_{nmax-2} números enteros que van desde 0 a $m-1$ inclusive, u es una cantidad de unidad base, y un valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^0)'$ es el valor del ángulo detectado p_1 del primer árbol giratorio.

- 30 2. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 1, en el que la unidad de cálculo incluye:

medios de cálculo de una señal de período $S(m^{n-1})$ para obtener una señal de período $S(m^{n-1})$ obtenida a partir de valores detectados de n árboles mediante:

$$S_{(m^{n-1})} = \text{mod}((k_1 \times p_1 + k_2 \times p_2' + k_3 \times p_3' + \dots + k_{n-1} \times p_{n-1}' + k_n \times p_n) \times J^{n-1}, u)$$

- 35 donde $k_1, k_2, \dots, k_n$ son coeficientes de un término de $(n-1)$ -ésimo grado en x en una expansión $k_1 \times x^0 + k_2 \times x^1 + k_3 \times x^2 \dots k_n \times x^{n-1}$ of $(x+1)^{n-1}$, $\text{mod}(x,a)$ es una operación de módulo que obtiene un resto restante cuando x se divide por a, y J es un término de ajuste de signo que es 1 si una relación de cambio entre cada uno de los dos árboles giratorios adyacentes es $-(m-1)/m$ y es -1 si la relación de cambio es $-(m+1)/m$,
40 medios para obtener un valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$ multiplicando la señal periódica $S(m^{n-1})$ del n-ésimo árbol giratorio por m^{n-1} ,
medios para determinar el coeficiente R_{n-2} de manera que un resultado del cálculo de la fórmula de cálculo del ángulo de rotación que obtiene el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ del n-ésimo árbol giratorio se aproxima al valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})$,
45 medios para sustituir el coeficiente determinado R_{n-2} en la fórmula de cálculo del ángulo de rotación para obtener el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ del n-ésimo árbol giratorio, y
medios para sustituir el valor calculado del ángulo de rotación $\theta_1(m^{n-1})'$ en:

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-1})}', u\right)$$

para obtener un valor corregido del ángulo p_n' .

- 55 3. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 1, en el que los medios para determinar el coeficiente R_{n-2} incluyen medios para determinar un número entero que se aproxima más estrechamente a un resultado de calcular:

$$\frac{\theta_{1(m^{n-1})} - \theta_{1(m^{n-2})}}{m^{n-2} \times u}$$

4. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 1, en el que los medios para determinar el coeficiente R_{n-2} determinan el coeficiente R_{n-2} calculando:

$$R_{n-2} = INT(\text{mod}(\frac{S_{(m^{n-1})} \times m}{u} - \frac{\theta_{1(m^{n-2})}}{m^{n-2} \times u} + 0,5, m))$$

donde $INT(x)$ es una operación que elimina una parte fraccionaria de un valor numérico x .

5. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de mecanismos de transmisión que se proporcionan en paralelo con el mecanismo de transmisión, en donde se calcula un ángulo de rotación absoluta de rotación múltiple en función de los valores detectados del ángulo detectado mediante detectores de ángulo del mecanismo de transmisión y la pluralidad de mecanismos de transmisión.

6. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 2, que comprende además una pluralidad de mecanismos de transmisión que se proporcionan en paralelo con el mecanismo de transmisión, en donde una pluralidad de señales periódicas se calculan en función de los valores detectados del ángulo mediante detectores de ángulo del mecanismo de transmisión y la pluralidad de mecanismos de transmisión.

7. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 6, en el que los períodos de las señales periódicas obtenidas del mecanismo de transmisión y la pluralidad de mecanismos de transmisión son relativamente primos entre sí.

8. El dispositivo para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 5, en el que el primer árbol giratorio del mecanismo de transmisión y los primeros árboles giratorios de la pluralidad de mecanismos de transmisión son un mismo árbol giratorio.

9. Un método para calcular un valor calculado de un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple $\theta_1(m^{n_{\max}-1})'$ de un primer árbol giratorio en un dispositivo de detección de ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple, comprendiendo el dispositivo de detección de ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple un mecanismo de transmisión adaptado para transmitir una revolución desde el primer árbol giratorio del primero al $n_{\max}$ -ésimo árboles giratorios hasta el $n_{\max}$ -ésimo árbol giratorio, en donde un ángulo de rotación θ_n del n -ésimo árbol giratorio cumple la siguiente relación con un ángulo de rotación θ_1 del primer árbol giratorio:

$$\theta_n = \left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \theta_1$$

donde los valores numéricos $n_{\max}$ y m son números enteros no inferiores a 3 y un valor numérico n cae dentro del intervalo $1 \leq n \leq n_{\max}$, y un detector de ángulos adaptado para detectar valores detectados de ángulo p_1 a $p_{n_{\max}}$ dentro de una revolución del primer árbol giratorio al $n_{\max}$ -ésimo árbol giratorio, comprendiendo el método las etapas de:

detectar los valores detectados del ángulo p_1 a $p_{n_{\max}}$ dentro de una revolución del primer árbol giratorio al $n_{\max}$ -ésimo árbol giratorio mediante el detector de ángulos;

determinar los valores de un coeficiente R_0 a un coeficiente $R_{n_{\max}-2}$, comprendiendo la etapa una etapa de determinar secuencialmente los valores del coeficiente R_0 al coeficiente $R_{n_{\max}-2}$ repitiendo, para el valor numérico $n = 2$ a $n_{\max}$, un proceso de determinación del coeficiente R_{n-2} a partir de un valor corregido del ángulo de rotación p_n' del n -ésimo árbol giratorio, determinándose el coeficiente R_{n-2} determinado de modo que el valor corregido del ángulo p_n' obtenido por una fórmula de cálculo del valor corregido del ángulo siguiente:

$$p_n' = \text{mod}\left(\left(-\frac{m \pm 1}{m}\right)^{n-1} \times \left(p_1 + \sum_{i=2}^n (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u\right), u\right)$$

se aproxima más estrechamente al valor p_n detectado del ángulo del n -ésimo árbol giratorio; y sustituir los coeficientes R_0 a $R_{n_{\max}-2}$ determinados en una fórmula de cálculo del ángulo de rotación:

$$\theta_{1(m^{n_{\max}-1})}' = p_1 + \sum_{i=2}^{n_{\max}} (R_{i-2} \times m^{i-2}) \times u$$

para obtener el valor calculado del ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple $\theta_1 (m^{n_{\max}-1})'$ del primer árbol giratorio, los coeficientes R_0 a $R_{n_{\max}-2}$ son números enteros que van de 0 a $m-1$ inclusive, siendo u la cantidad de unidad base, siendo un valor corregido del ángulo p_1' el valor del ángulo detectado p_1 del primer árbol giratorio.

10. El método para calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple según la reivindicación 9, en el que la etapa de determinar el coeficiente R_{n-2} incluye una etapa de determinar un número entero que se aproxima más estrechamente a un resultado de calcular:

$$\text{mod}(\mp(p_n - (-\frac{m \pm 1}{m})^{n-1} \times \theta_{1(m^{n-2})}') \times \frac{m}{u}, m)$$

11. El método según la reivindicación 9, en el que el dispositivo incluye además una pluralidad de mecanismos de transmisión que se proporcionan en paralelo con el mecanismo de transmisión, y el método comprende además una etapa de calcular un ángulo de rotación absoluto de rotación múltiple sobre la base de los valores detectados del ángulo detectados mediante detectores de ángulo del mecanismo de transmisión y la pluralidad de mecanismos de transmisión.

12. El método según la reivindicación 9, en el que el primer árbol giratorio del mecanismo de transmisión y los primeros árboles giratorios de la pluralidad de mecanismos de transmisión son un mismo árbol giratorio.

10

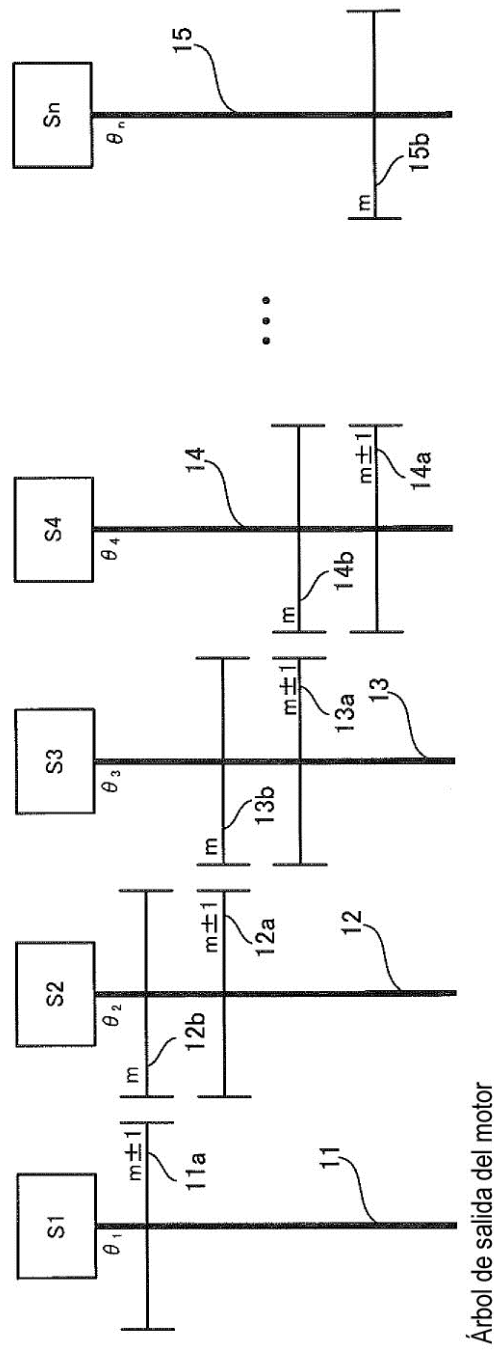


Fig. 1

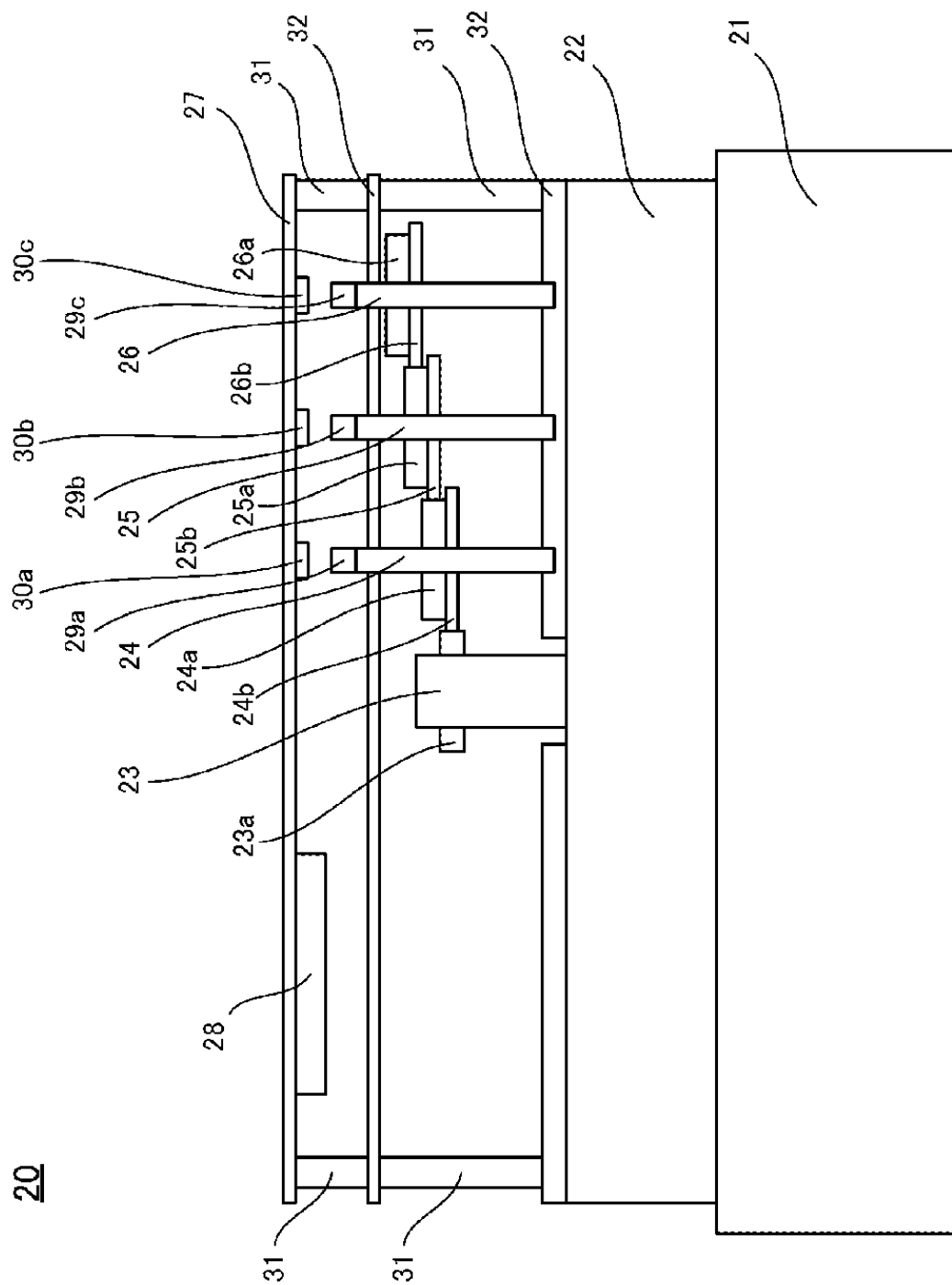


Fig. 2

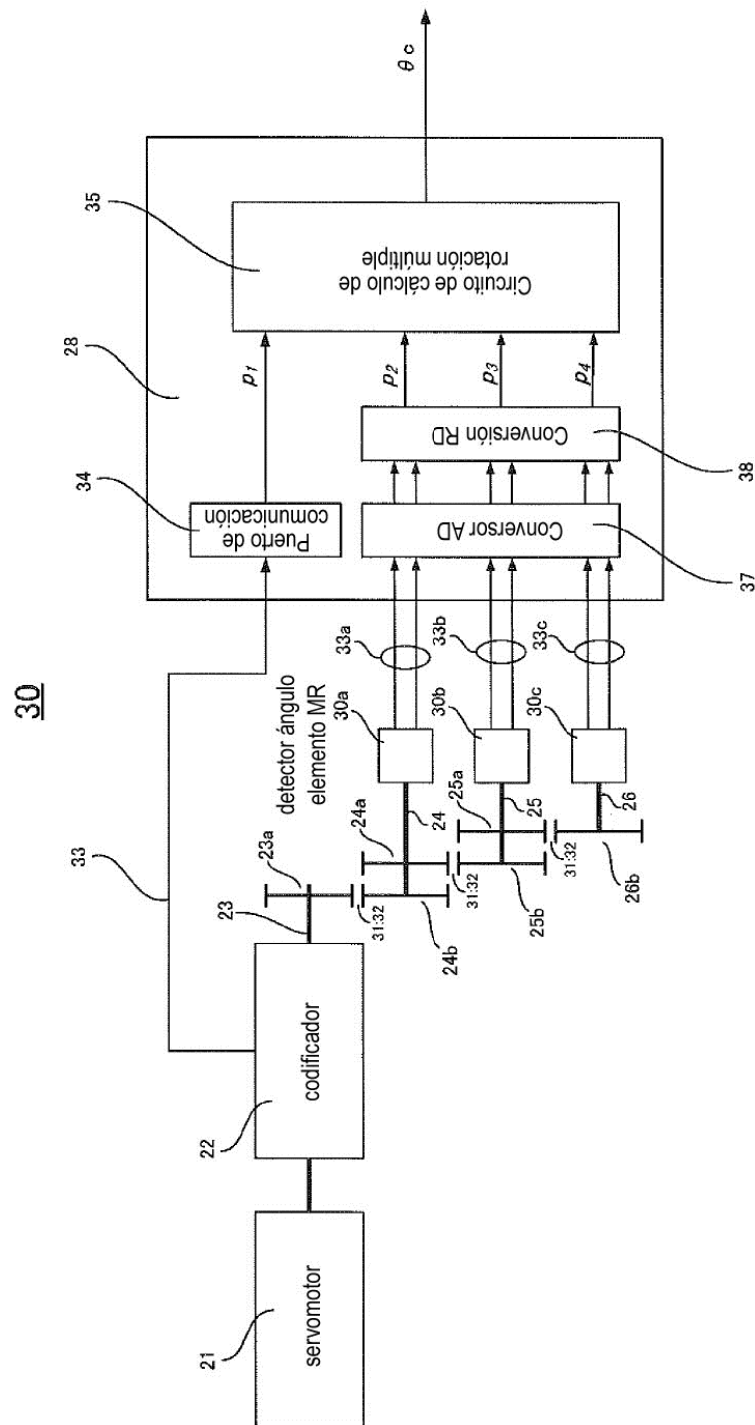


Fig. 3

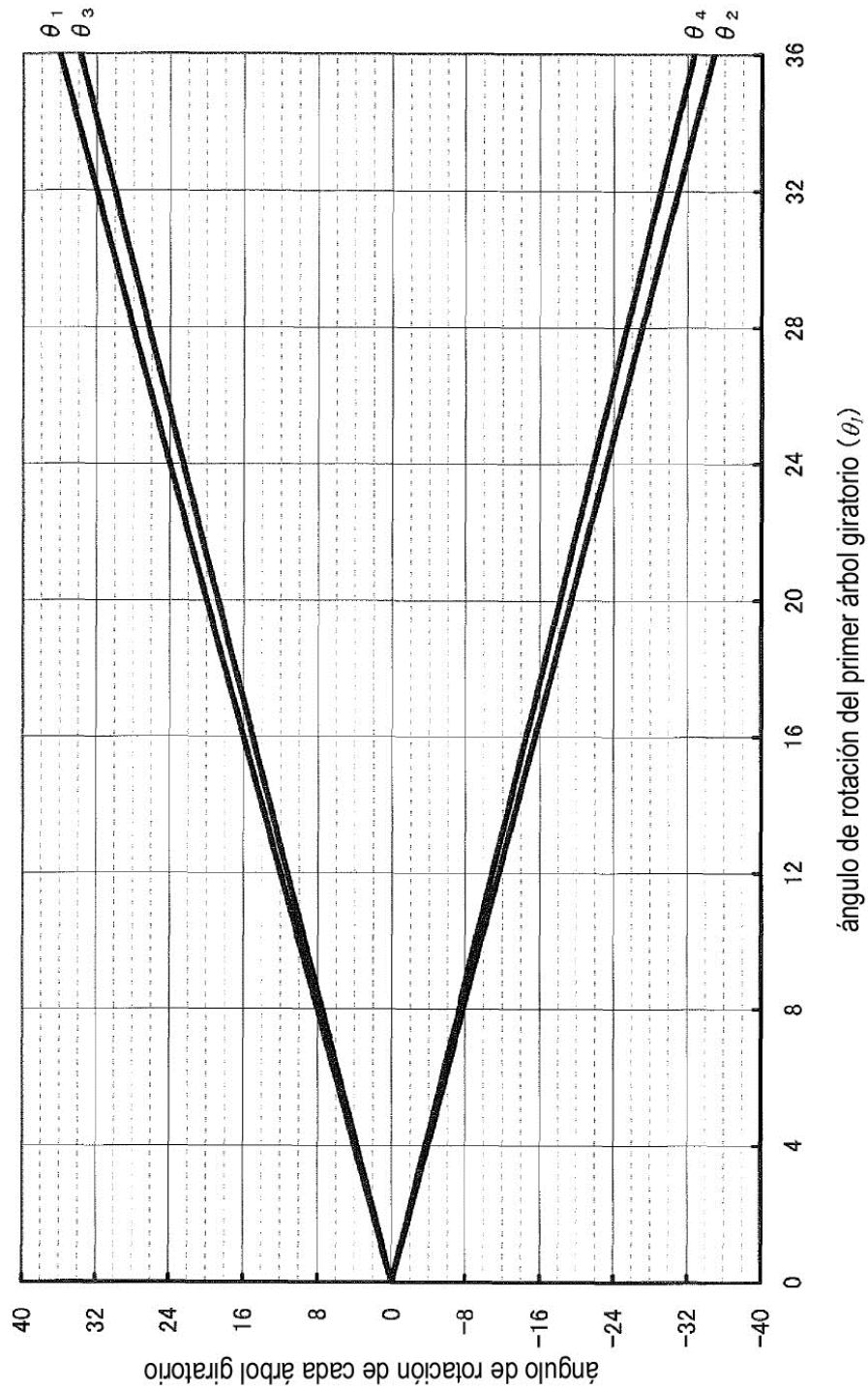


Fig. 4

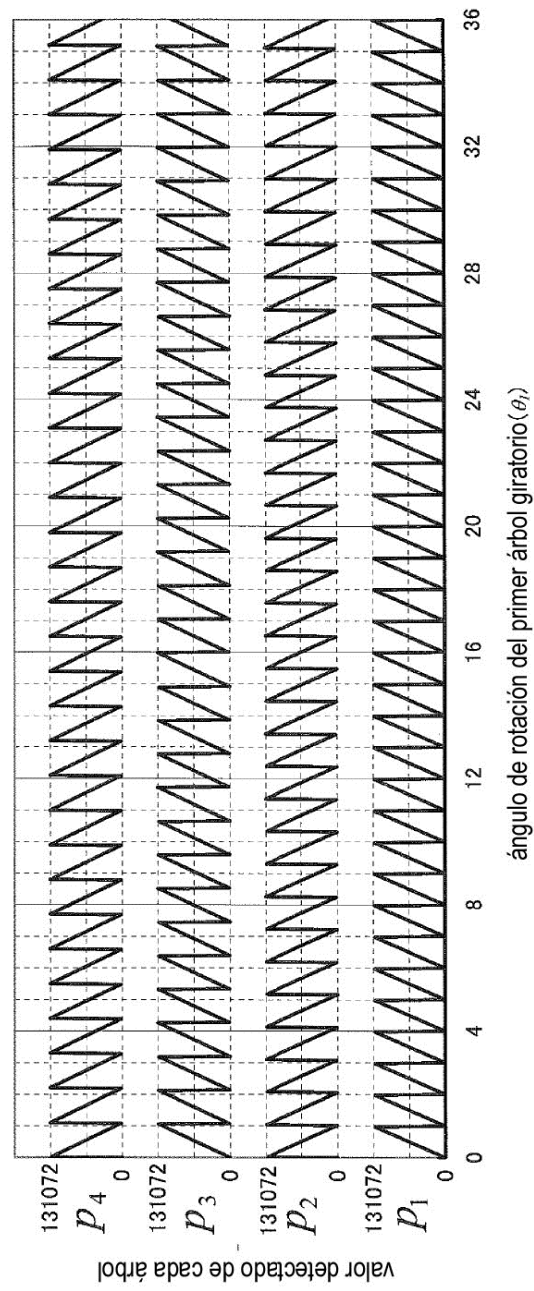


Fig. 5

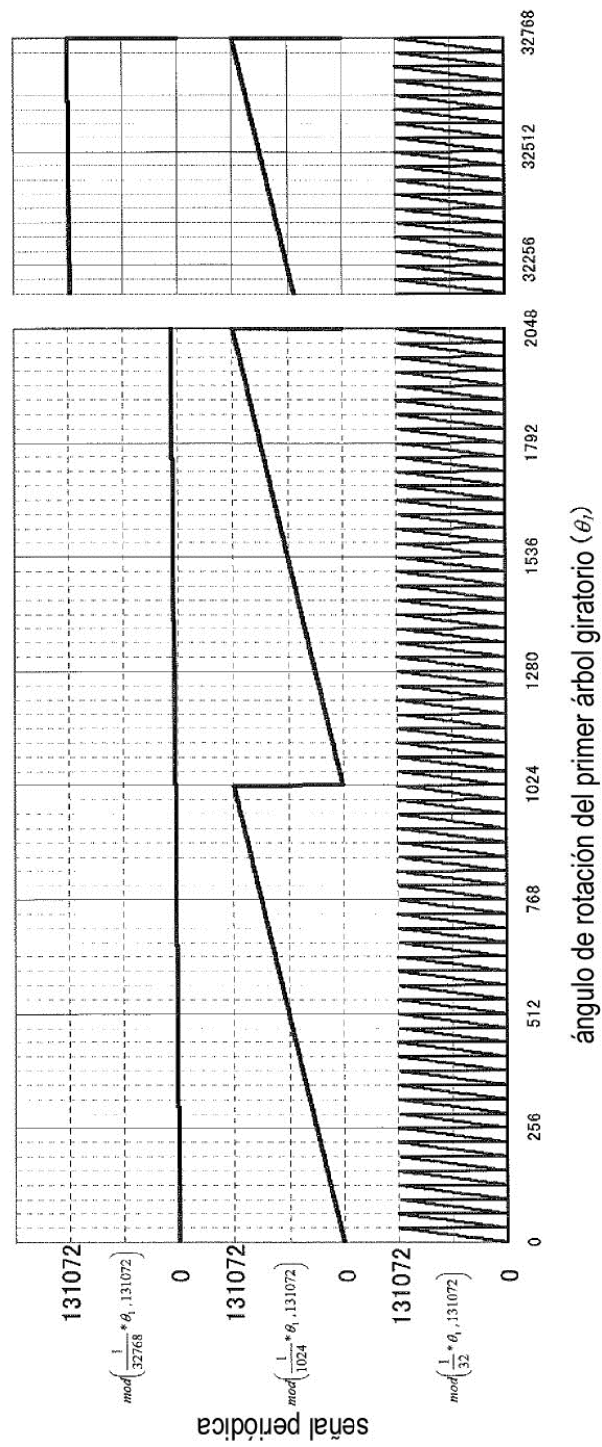


Fig. 6

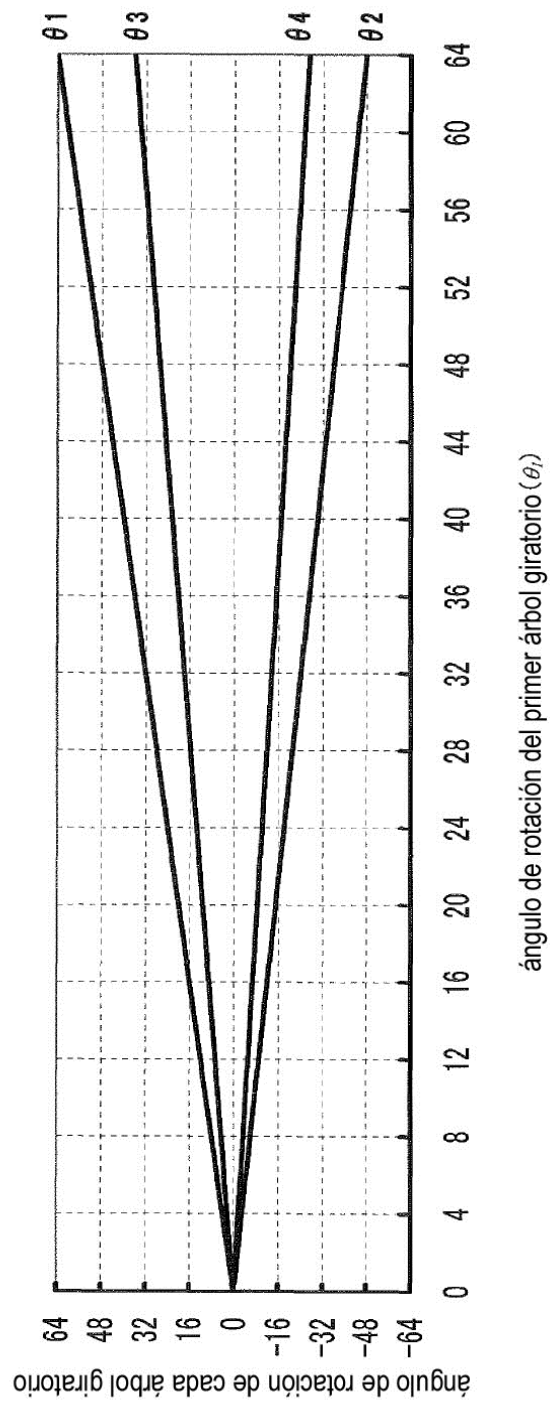


Fig. 7

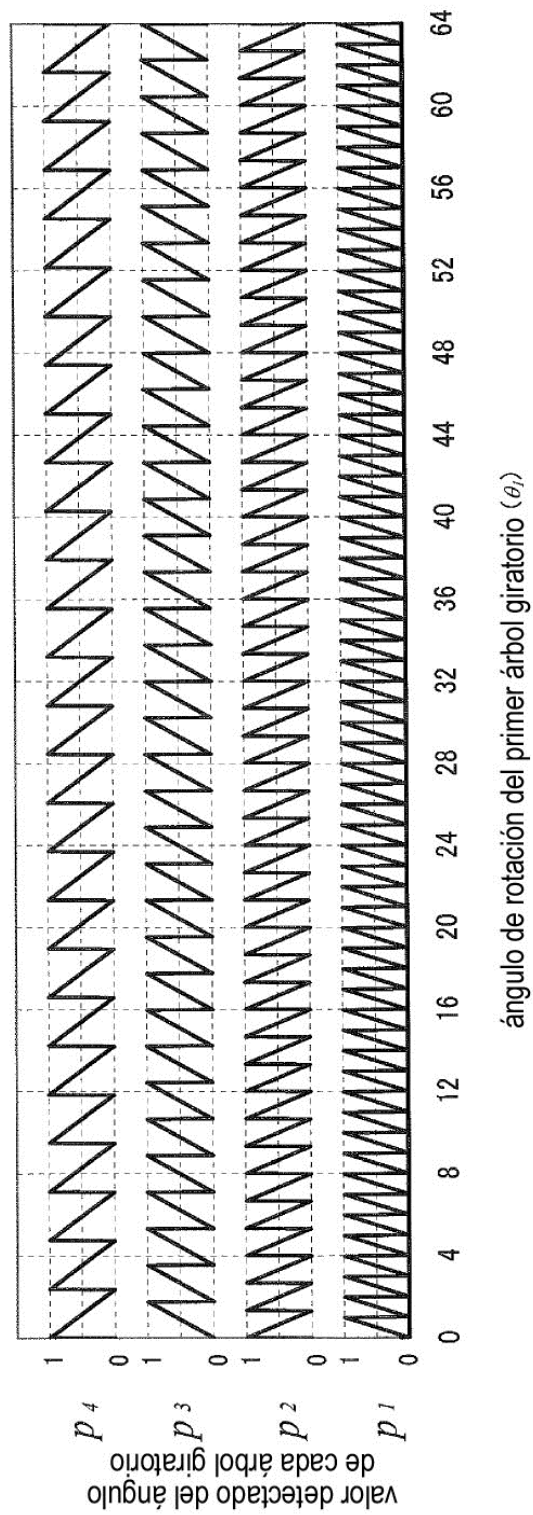


Fig. 8

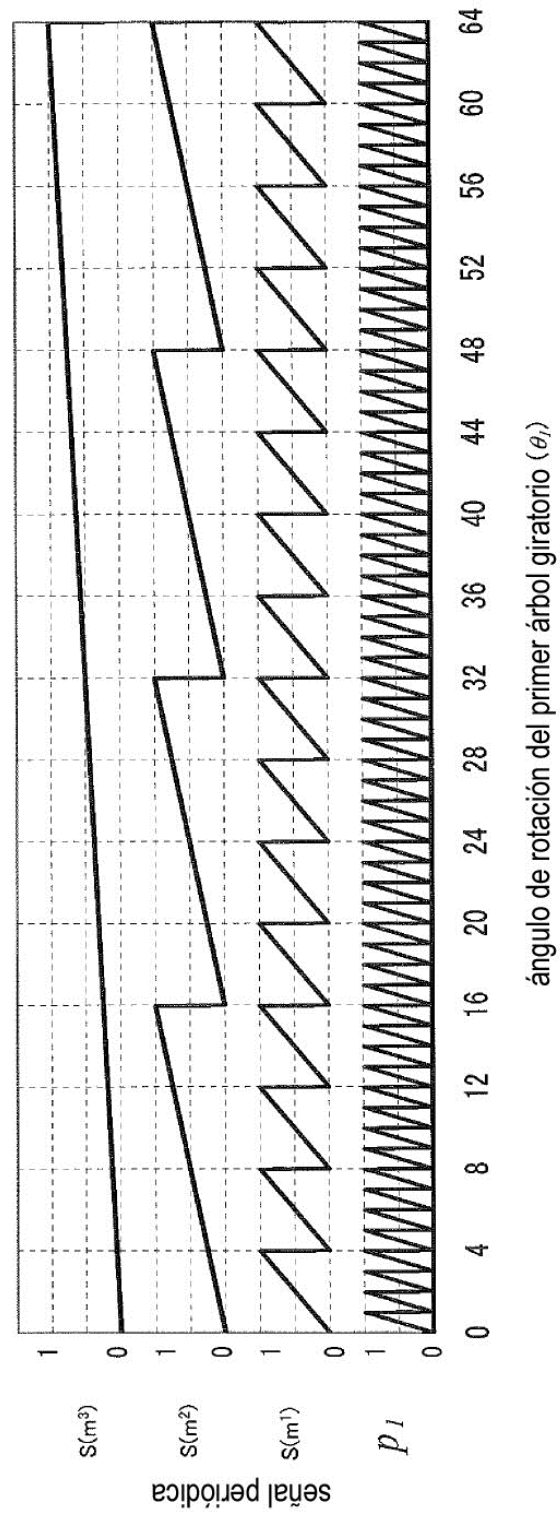


Fig. 9

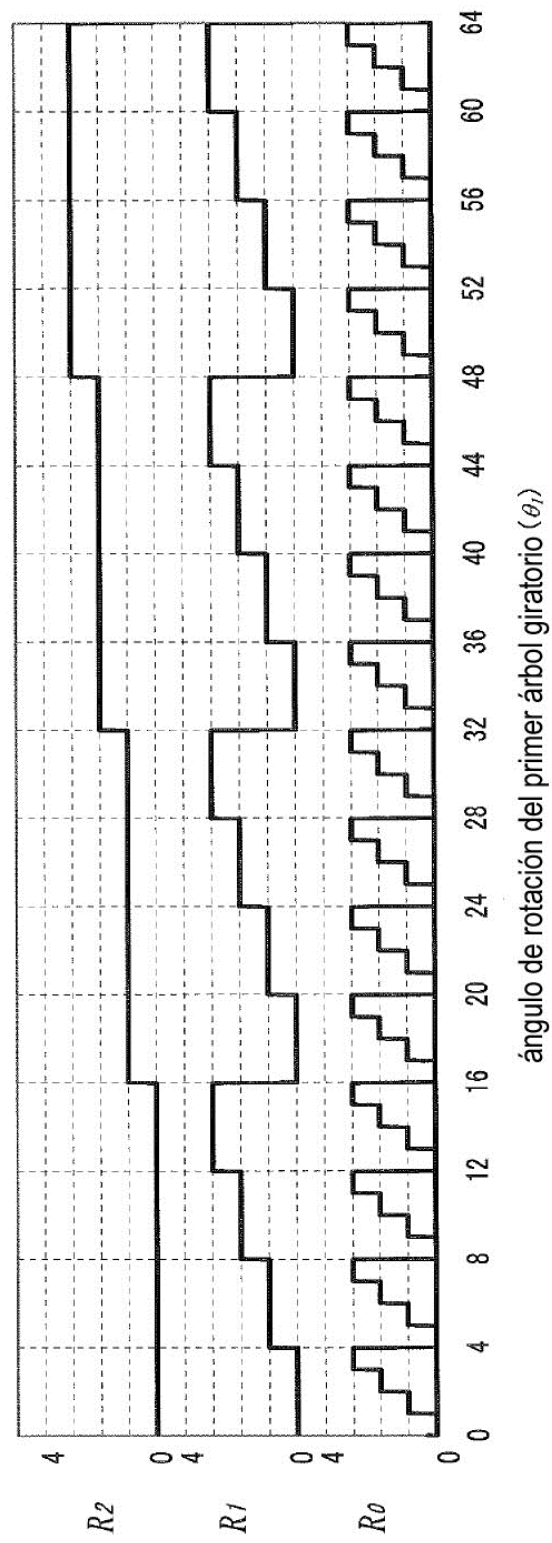


Fig. 10

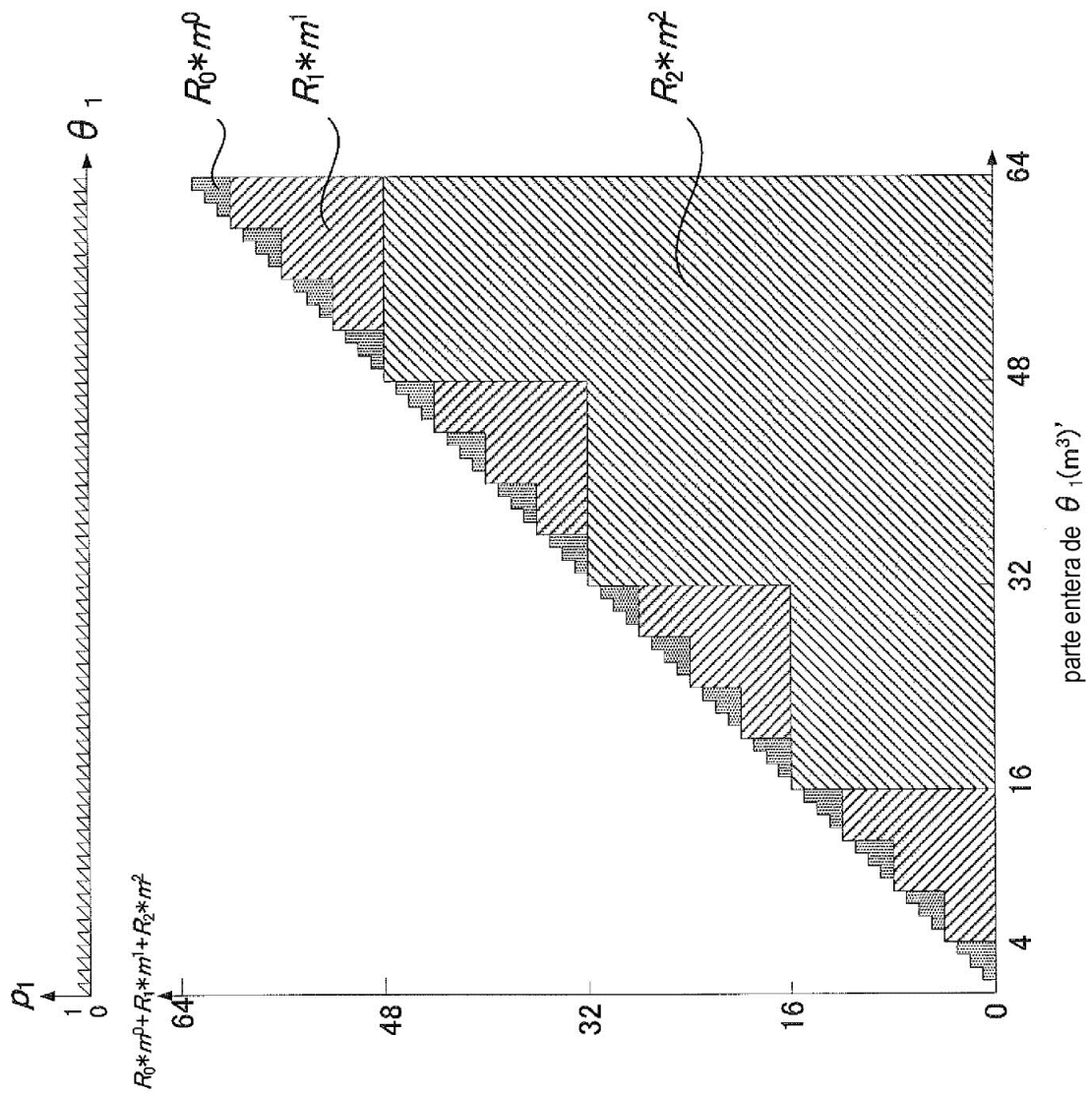


Fig. 11

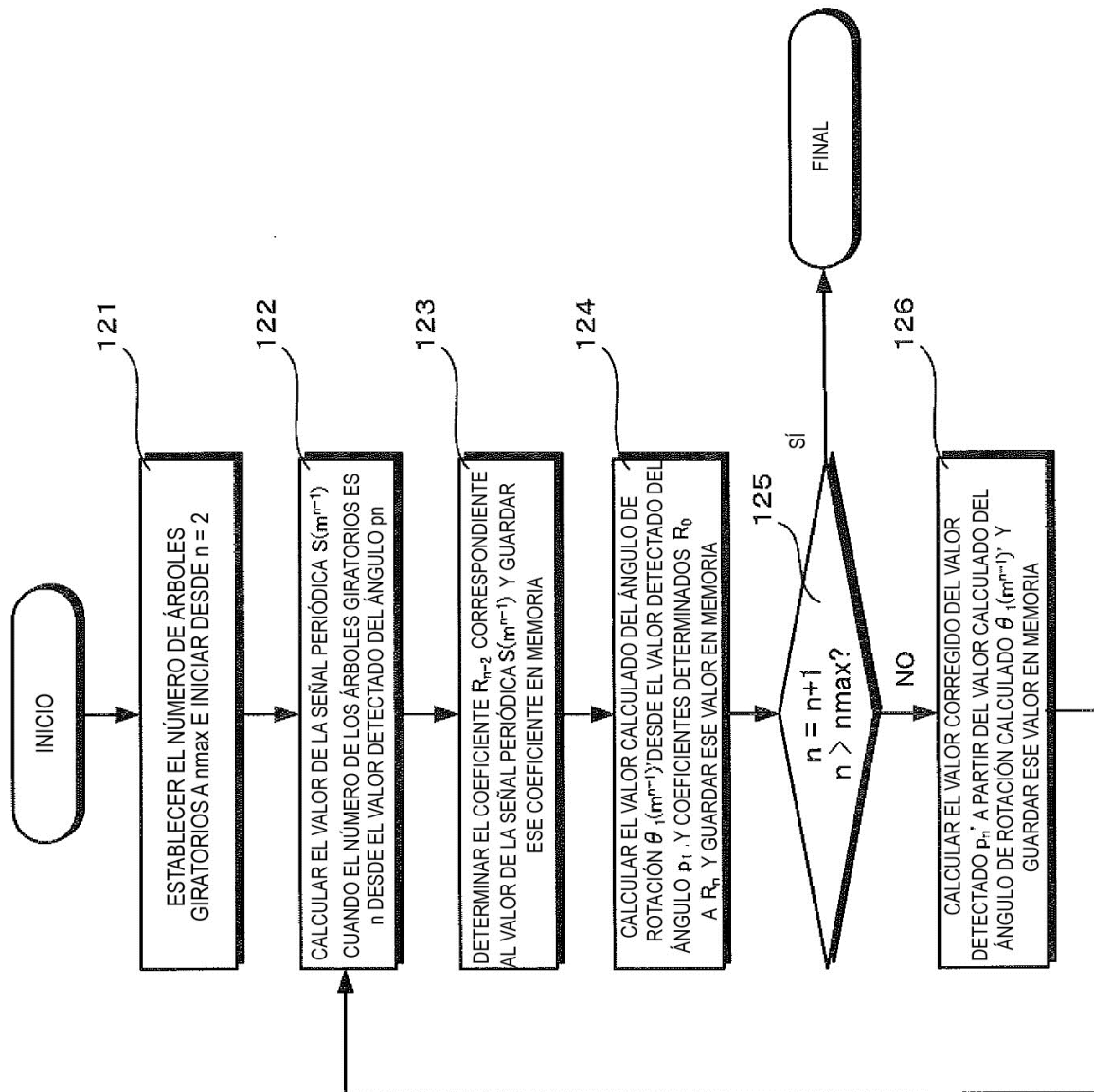


Fig. 12

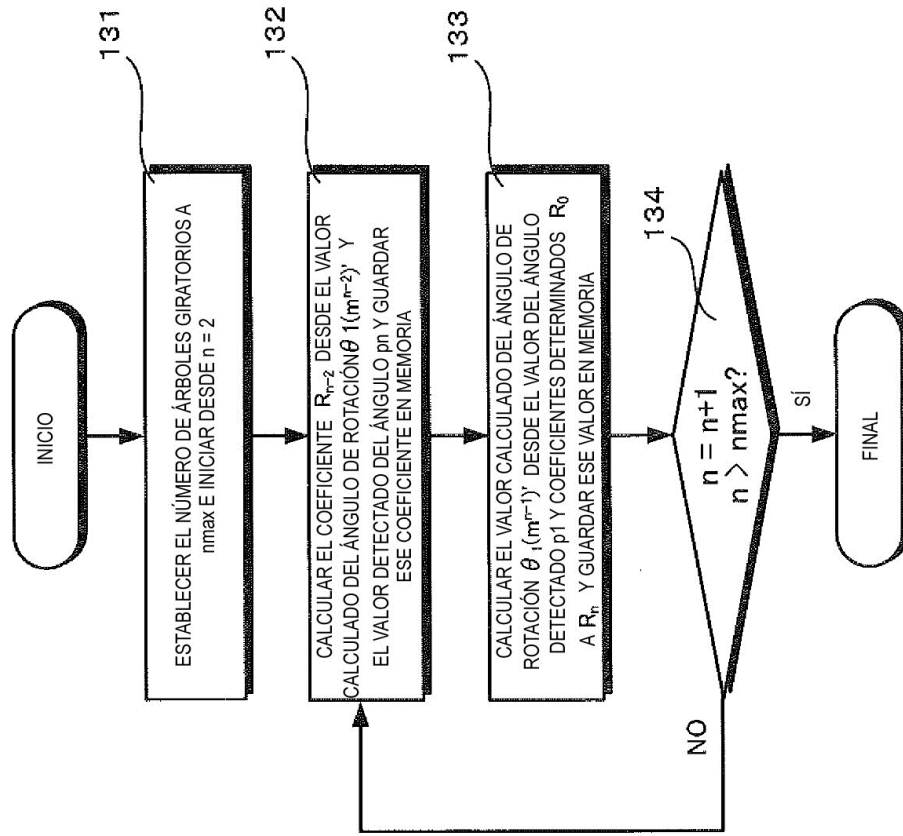


Fig. 13

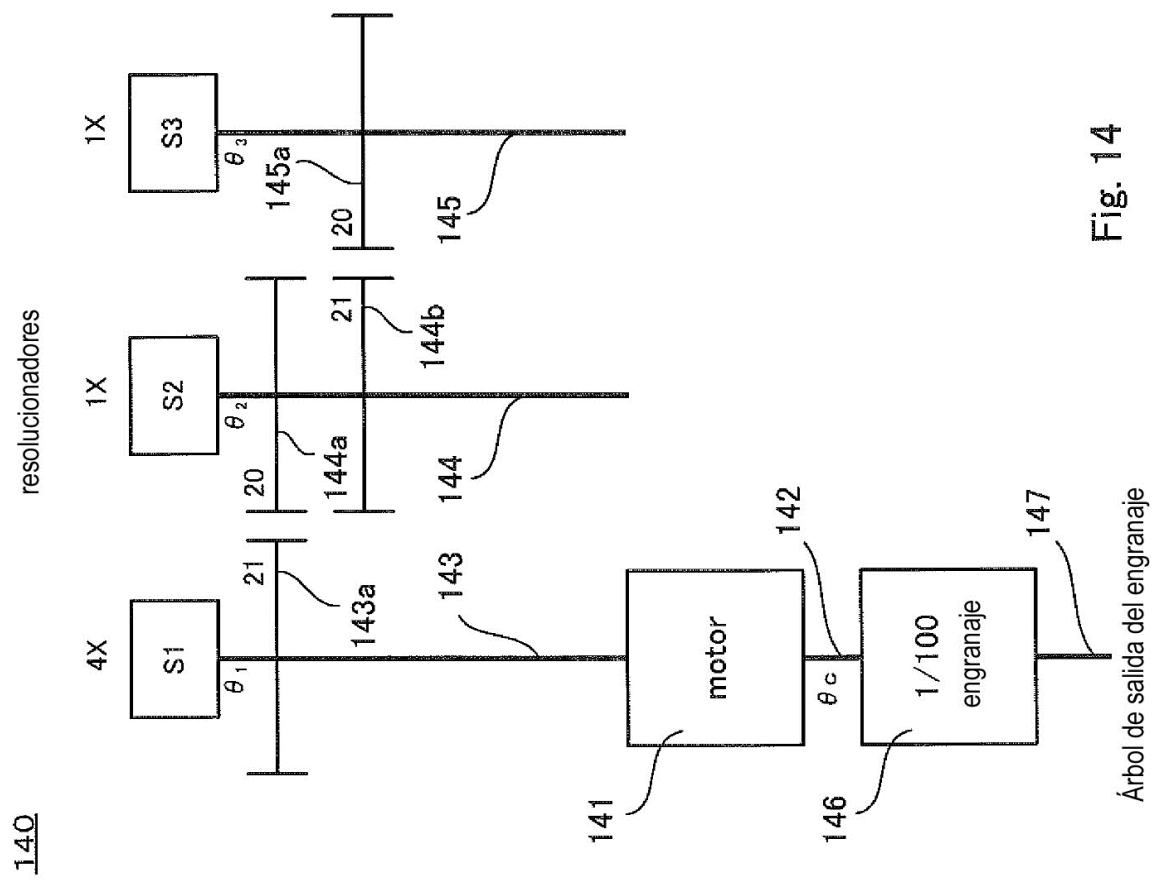


Fig. 14

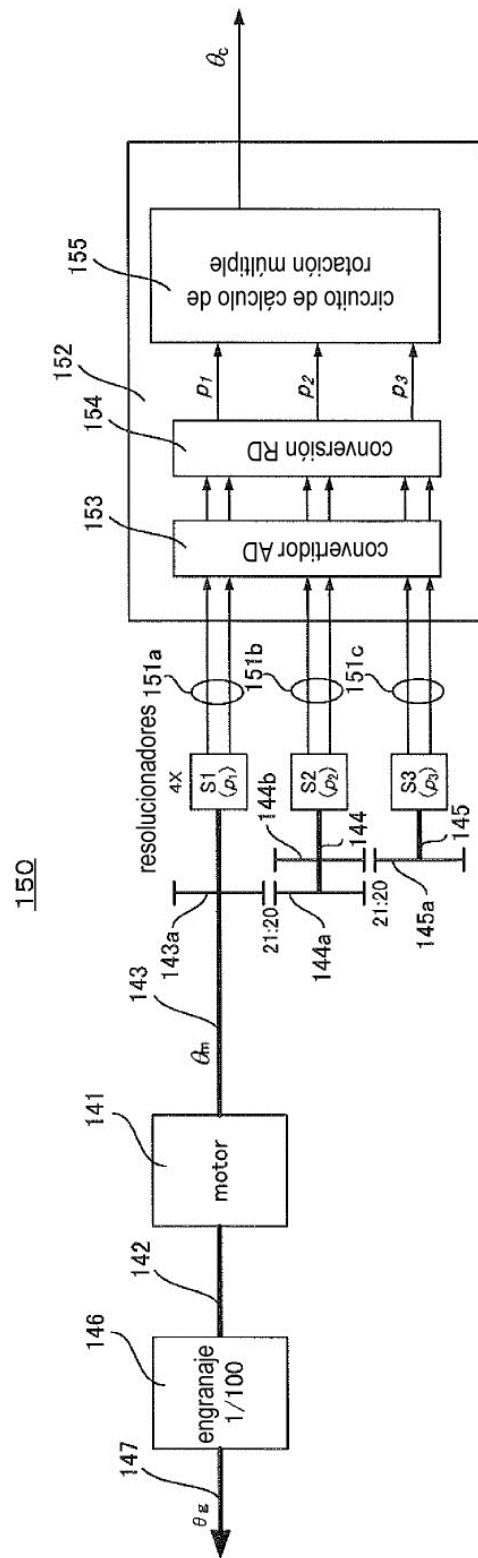


Fig. 15

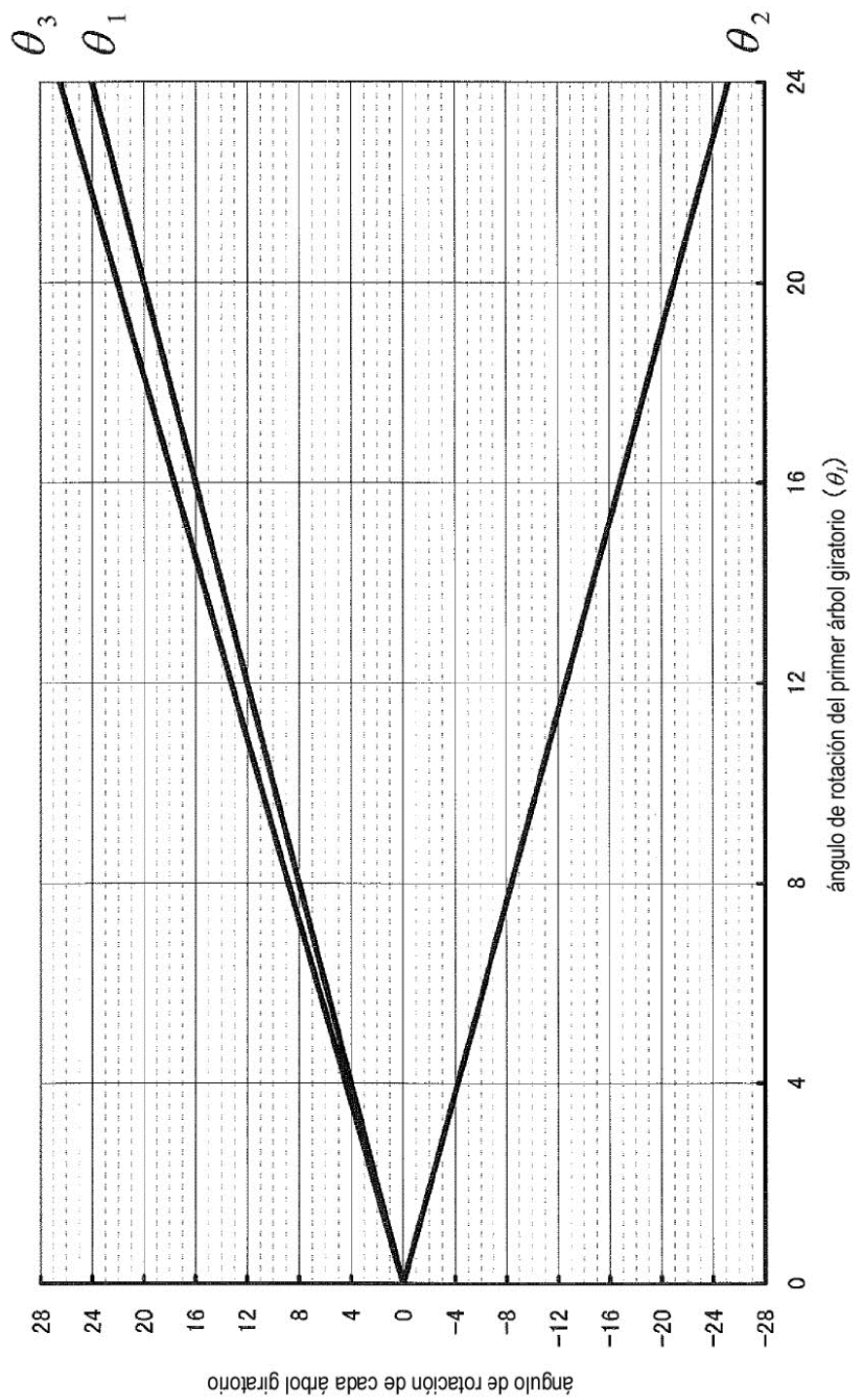


Fig. 16

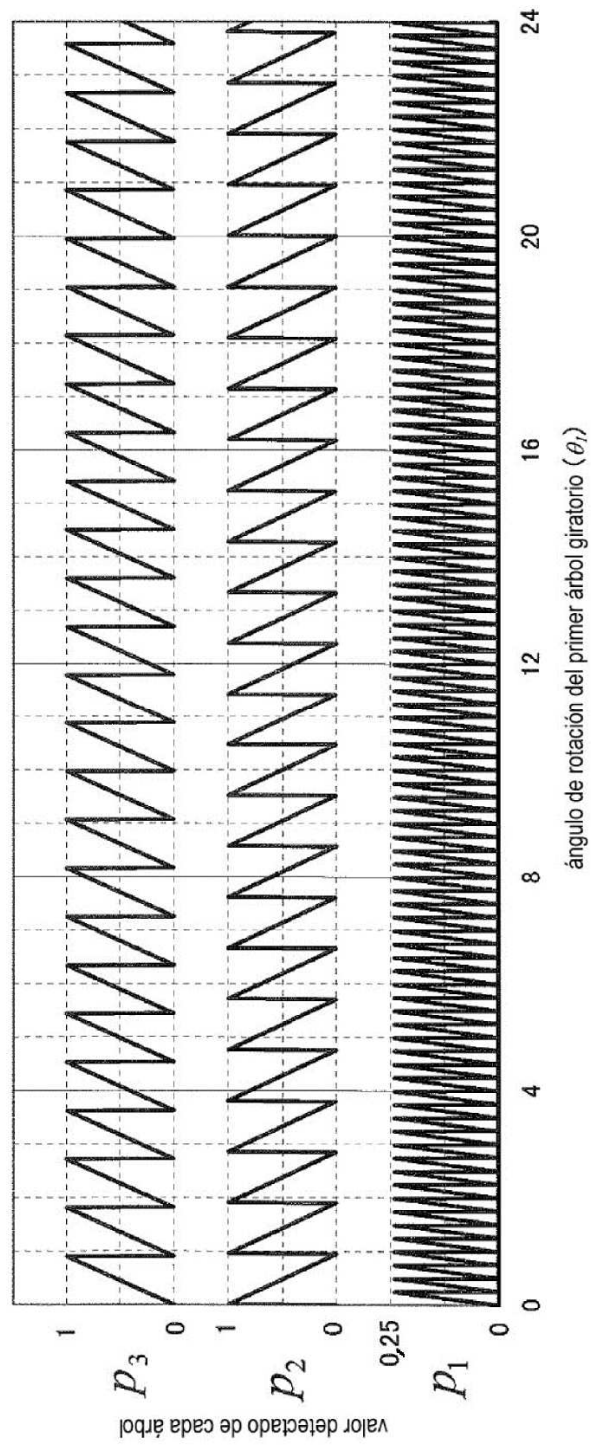


Fig. 17

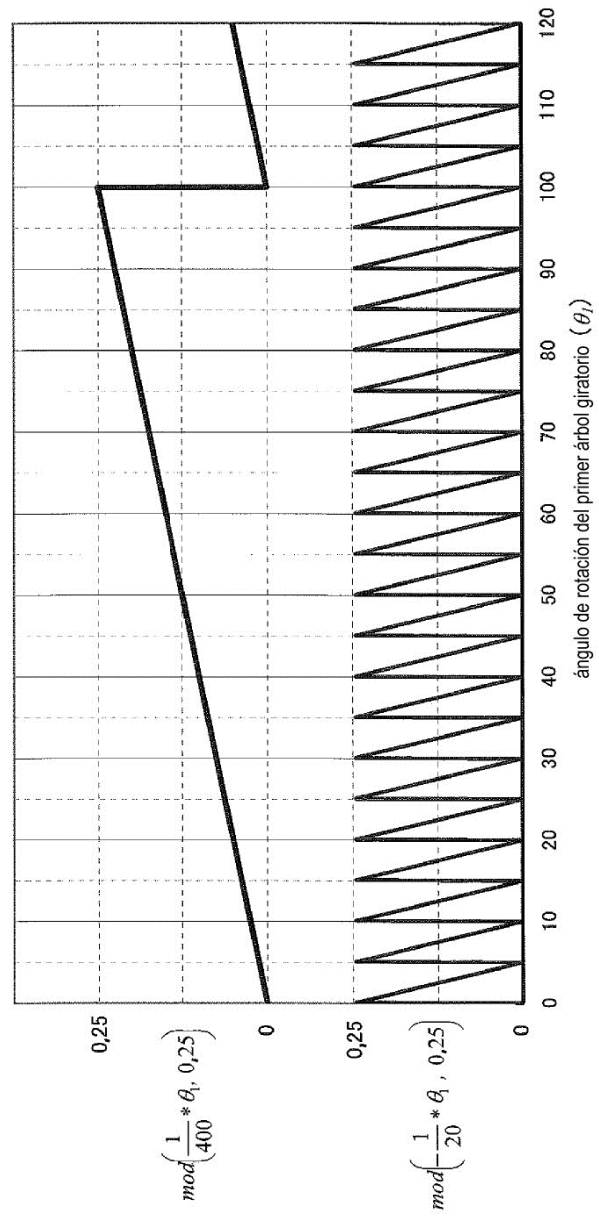


Fig. 18

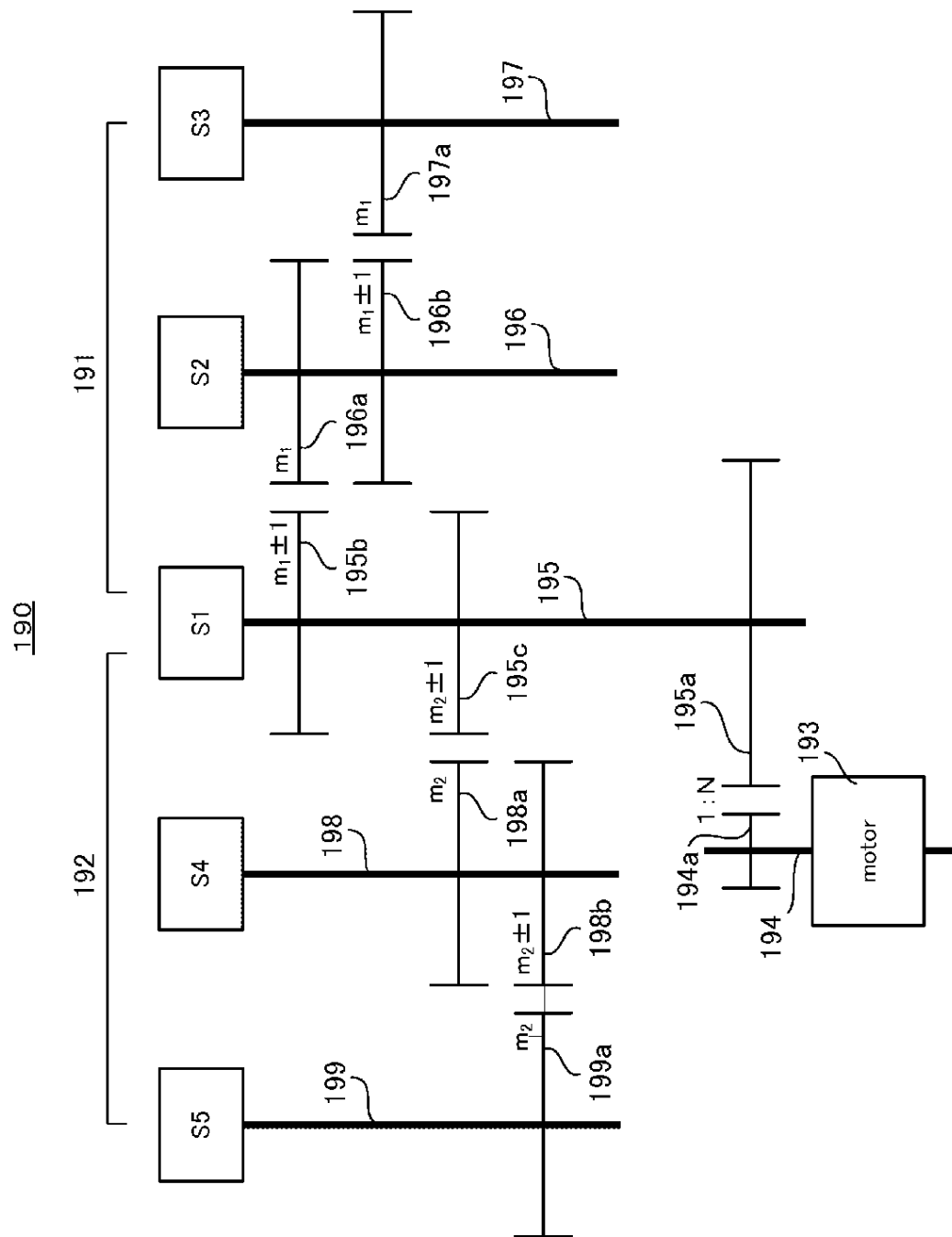


Fig. 19