

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 724 274**

51 Int. Cl.:

**H02K 21/22** (2006.01)

**H02K 7/00** (2006.01)

**H02K 29/03** (2006.01)

**H02K 1/27** (2006.01)

**F02N 11/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2014 PCT/JP2014/064561**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.02.2015 WO15022804**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2014 E 14734927 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 3017532**

54 Título: **Motor de accionamiento síncrono**

30 Prioridad:

**14.08.2013 JP 2013168421**

**21.04.2014 JP 2014087426**

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

**09.09.2019**

73 Titular/es:

**YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA**  
**(100.0%)**

**2500 Shingai**

**Iwata-shi, Shizuoka 438-8501, JP**

72 Inventor/es:

**KOBAYASHI, TAKAYUKI;**

**HINO, HARUYOSHI y**

**NISHIKAWA, TAKAHIRO**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

**ES 2 724 274 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

Motor de accionamiento síncrono

5 **Campo técnico**

**[0001]** La presente invención se refiere a un motor de accionamiento síncrono.

**Antecedentes de la técnica**

10

**[0002]** Se requiere que un motor de accionamiento tenga un par alto, un alto rendimiento y un tamaño pequeño, todo lo cual debe lograrse a un alto nivel. Particularmente, el motor de accionamiento se monta comúnmente en maquinaria que es un objeto para impulsar. Por lo tanto, cómo lograr un alto par motor y un alto rendimiento a pesar de la restricción de tamaño es un problema.

15

**[0003]** Cada una de la Bibliografía de patente 1 a 3 describe un motor que impulsa un compresor. Para lograr un alto rendimiento, los motores descritos en la Bibliografía de patente 1 a 3 adoptan una configuración en la que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes. Un motor configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes tiene una baja velocidad angular  $\omega$  y una baja impedancia. Esta es la razón por la que el motor, configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes, es capaz de recibir un gran suministro de corriente, lo que puede mejorar el rendimiento del motor.

20

**[0004]** En la Bibliografía de patente 1 a 3, una porción de extremo distal de cada diente incluido en el motor tiene porciones sobresalientes que sobresalen en una dirección circunferencial. Proporcionar las porciones sobresalientes a un diente puede aumentar el área sobre la cual el diente está opuesto a la cara de un imán, lo que aumenta la cantidad de flujos magnéticos recibidos por el diente. Como resultado, se puede aumentar el par del motor de accionamiento.

25

**[0005]** El documento EP 1 578 000 A2 describe un motor que comprende un estator que tiene un núcleo que incluye varios dientes de estator, y ranuras de estator proporcionadas entre los dientes. Un rotor está dispuesto rodeando el estator y comprende un cuerpo de rotor e imanes permanentes proporcionados en el cuerpo de rotor. El número de dientes de estator es menor que el número de imanes permanentes.

30

**[0006]** El documento US 5 642 013 A describe un motor síncrono que comprende una armadura que tiene una pluralidad de dientes sólidos con un yugo y separados por ranuras en las que se alojan las bobinas. Un inductor que comprende una pluralidad de imanes está separado de la armadura por un entrehierro. El motor está dimensionado de tal manera que los dientes de la armadura tienen una sección transversal constante en toda su altura y el ancho de las ranuras a lo largo de las cabezas de los dientes es sustancialmente igual al ancho de estas cabezas para minimizar el efecto reactivo parásito debido a las ranuras.

35

**[0007]** El documento DE 297 12 973 U1 describe un motor que comprende dientes que tienen una forma trapezoidal.

40

**[0008]** El documento EP 2 348 611 A1 indica una máquina eléctrica giratoria que incluye un estator que tiene una bobina de estator y un rotor proporcionado de forma giratoria en torno a un eje de rotación específico con respecto al estator. El rotor incluye una pluralidad de imanes, una pluralidad de elementos de polos sobresalientes asistidos magnéticamente proporcionados entre los polos de cualquiera de los dos imanes adyacentes de entre la pluralidad de imanes.

45

**[0009]** Jacek F. Gieras: «5 Permanent Magnet Synchronous Motors, 5.1 Construction, 5.2 Fundamental Relationships» en: «Permanent magnet motor technology: designs and applications», 1 de enero de 2010, CRC Press, Boca Raton, Fla. [u.a.], ISBN: 978-1-4200-6440-7, describe rotores con imanes enterrados para motores síncronos.

50

**[0010]** El documento US 2005/0046304 A1 describe un generador de motor que comprende nueve dientes de estator y diez imanes permanentes. La relación entre el ancho eficaz  $d_1$  de cada imán permanente y el ancho  $d_2$  del extremo distal de los dientes del estator se establece en  $d_1 \leq d_2$ .

55

**[0011]** El documento EP 1 173 163 A1 describe una máquina giratoria eléctrica de imán permanente interior con un par de salida aumentado utilizando un par de reluctancia.

60

**Lista de referencias****Bibliografía de patente**

65 **[0012]**

PTL 1: Solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública N.º 2007-074898

PTL 2: Solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública N.º 11-146584 (1999)

5

PTL 3: Solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública N.º 2004-135380

## Resumen de la invención

### 10 Problema técnico

**[0013]** Un objetivo de la presente invención es proporcionar un motor de accionamiento síncrono que satisfaga un par alto, un alto rendimiento y una reducción del tamaño a un nivel más alto.

### 15 Solución del problema

**[0014]** Para resolver el problema descrito anteriormente, la presente invención adopta las siguientes configuraciones.

20 (1) La materia objeto como se define en la reivindicación 1.

Los presentes inventores han realizado extensos estudios sobre el logro de un alto rendimiento y un alto par, manteniendo al mismo tiempo el tamaño de un motor de accionamiento síncrono. En el transcurso de los estudios, los presentes inventores han cambiado la forma de pensar, para anular dos tipos de saber común que los expertos en la técnica tienen acerca de un motor de accionamiento síncrono, como se describe en el punto (i) y (ii) a continuación.

(i) Un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes que se ha utilizado convencionalmente por la razón de que, entre diversos tipos de motores de accionamiento síncronos que tienen diferentes relaciones del número de caras de imán al número de dientes, un motor configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes tiene la velocidad angular más baja  $\omega$ . Una menor velocidad angular  $\omega$  conduce a una menor impedancia  $Z$ , lo que permite que se suministre una mayor corriente al motor de accionamiento síncrono. Como resultado, se mejora un rendimiento del motor de accionamiento síncrono. Una mejora del rendimiento es favorable para el motor de accionamiento síncrono. En otras palabras, cuando el número de caras de imán es más de  $2/3$  del número de dientes, la velocidad angular  $\omega$  es alta, lo que da como resultado un rendimiento reducido del motor de accionamiento síncrono. Esta es la razón por la que establecer el número de caras de imán en más de  $2/3$  del número de dientes se ha considerado desfavorable para el motor de accionamiento síncrono. Sin embargo, los presentes inventores han revocado este saber común y han intentado configurar el motor de accionamiento síncrono de tal forma que el número de caras de imán sea más de  $2/3$  del número de dientes.

40

(ii) Convencionalmente, una porción de extremo distal de un diente está dotada de una porción sobresaliente que sobresale en una dirección circunferencial, por la siguiente razón. Un diente que tiene una porción saliente es capaz de recoger una gran cantidad de flujos magnéticos de una cara de imán, lo que contribuye a la mejora de un par. La presencia de la porción sobresaliente aumenta el área sobre la cual la porción de extremo distal del diente se opone a la cara de imán. Esto mejora el coeficiente de permeabilidad de una parte de imán permanente. Por ejemplo, se permite reducir el espesor de la parte de imán permanente para reducir el tamaño del motor de accionamiento síncrono. También se logra la mejora de un par. Esta es la razón por la cual el aumento del tamaño de la porción sobresaliente del diente se ha considerado favorable para el motor de accionamiento síncrono. Sin embargo, los presentes inventores han revocado este saber común y han intentado reducir el tamaño de la porción sobresaliente del diente del motor de accionamiento síncrono.

Los presentes inventores han intentado revocar simultáneamente tanto el saber común de que el número de caras de imán se establece en  $2/3$  del número de dientes como el saber común de que la porción sobresaliente del diente tiene un tamaño mayor. Como resultado, los presentes inventores han descubierto que proporcionar un número mayor de caras de imán que el número de dientes y establecer que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente para sea más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar permite satisfacer un alto rendimiento y un alto par a un nivel alto incluso bajo la condición de que, por ejemplo, el tamaño del motor de accionamiento síncrono no se modifique.

60

El motor de accionamiento síncrono del punto (1) incluye un número mayor de caras de imán en comparación con un motor de accionamiento síncrono configurado de manera convencional, de modo que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes (en lo sucesivo en el presente documento, a veces se denominado simplemente motor de accionamiento síncrono convencional). Por lo tanto, en el motor de accionamiento síncrono del punto (1), en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional, cuyo tamaño es igual al tamaño del motor de

65

accionamiento síncrono del punto (1), la cara de imán tiene un ancho circunferencial más pequeño. Además, el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar. Por lo tanto, en el motor de accionamiento síncrono, una disminución en el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente aumenta un hueco entre dientes que es un intervalo entre las porciones de extremo distal de los dientes adyacentes con respecto a la dirección circunferencial.

Normalmente, cuando el ancho circunferencial de la porción de extremo distal disminuye, el área sobre la cual la porción de extremo distal se opone a la cara de imán se reduce, y por lo tanto, la cantidad de flujos magnéticos de interconexión que se introducen desde la cara de imán al diente y se interconectan con el bobinado se reduce. A este respecto, en el motor de accionamiento síncrono del punto (1) en el que la cara de imán tiene un ancho circunferencial más pequeño, una reducción en el área sobre la cual se opone la porción de extremo distal a la cara de imán se suprime, incluso cuando la anchura circunferencial de la porción de extremo distal disminuye. Por consiguiente, se suprime una reducción en los flujos magnéticos de interconexión del bobinado, que de otro modo podrían estar implicados en el ancho circunferencial pequeño de la porción de extremo distal del diente. Además, el gran hueco entre dientes hace que se filtren menos flujos magnéticos a través del hueco entre dientes. La disminución en los flujos magnéticos de fuga permite, por ejemplo, un aumento en los flujos magnéticos de estator que se introducen desde el diente a la cara de imán. Por lo tanto, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) puede obtener un alto par motor, por ejemplo, aumentando los flujos magnéticos de estator con la supresión de una disminución en los flujos magnéticos de interconexión del bobinado.

En el motor de accionamiento síncrono del punto (1), cada una de la pluralidad de partes de yugo auxiliar está dispuesta en el intervalo entre las partes de imán permanente. Por lo tanto, se puede obtener un par de reluctancia utilizando una fuerza de atracción producida entre la parte de yugo auxiliar y el diente. El motor de accionamiento síncrono del punto (1) incluye las partes de yugo auxiliar y, por consiguiente, el imán proporcionado en el mismo tiene un tamaño pequeño, en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional cuyo tamaño es igual al tamaño del motor de accionamiento síncrono del punto (1), pero, no obstante, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) puede mejorar un par debido al par de reluctancia. En el motor de accionamiento síncrono del punto (1), en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional, se proporciona un mayor número de caras de imán, y por lo tanto, el número de partes de yugo auxiliar también es grande. Esto puede proporcionar un alto par de reluctancia.

Por ejemplo, en un caso en el que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es mayor que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, cuando fluye una corriente a través de un bobinado junto con la rotación del rotor, la parte de yugo auxiliar está opuesta al diente enrollado con el bobinado. Por lo tanto, la parte de yugo auxiliar es atraída hacia el diente en cierta medida. Por lo tanto, un par de reluctancia es bajo. Por otro lado, en el motor de accionamiento síncrono del punto (1), el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar. Esta configuración suprime el grado de oposición entre el diente y la parte de yugo auxiliar en un momento en el que una corriente fluye a través del bobinado. Por lo tanto, tras el flujo de una corriente, la fuerza de atracción que atrae la parte de yugo auxiliar al diente provoca una fuerte fuerza de rotación. Por consiguiente, se obtiene un alto par de reluctancia. Además, en el motor de accionamiento síncrono del punto (1), el hueco entre dientes es grande, lo que mejora drásticamente el grado de libertad en el diseño del bobinado. Por consiguiente, por ejemplo, el número de vueltas del bobinado se puede aumentar para mejorar un par.

Como se ha descrito hasta ahora, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) es capaz de mejorar un par motor, por ejemplo, aumentando los flujos magnéticos de estator con la supresión de una disminución en los flujos magnéticos de interconexión del bobinado, utilizando un alto par de reluctancia, o aumentando el número de vueltas del bobinado. Por consiguiente, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) puede mejorar un par en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional cuyo tamaño es igual al tamaño del motor de accionamiento síncrono del punto (1).

En el motor de accionamiento síncrono del punto (1), como se describe anteriormente, el espacio entre dientes es grande, por lo que la inductancia  $L$  es baja. Por lo tanto, incluso cuando el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, de manera que la velocidad angular  $\omega$  es alta, se puede mantener una componente de  $CA \omega L$  de impedancia. Como resultado, se puede asegurar una corriente suministrada al motor de accionamiento síncrono. Dado que el par se mejora como se describe anteriormente, garantizar la corriente permite la mejora del rendimiento. En el motor de accionamiento síncrono del punto (1), como se describe anteriormente, se mejora el grado de libertad en el diseño del bobinado. Por lo tanto, por ejemplo, se permite la adopción de un cable que tenga un gran diámetro para el bobinado sin causar un aumento en el tamaño del motor de accionamiento síncrono. Esto puede reducir la resistencia  $R$  del bobinado. Por lo tanto, al aumentar la corriente suministrada al bobinado, se pueden mejorar tanto el par como el rendimiento. Por lo tanto, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) puede mejorar el rendimiento en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional cuyo tamaño es igual al tamaño del motor de accionamiento síncrono del punto (1). Cuál del par y el rendimiento se va a mejorar más se puede ajustar, por ejemplo,

cuál del diámetro del bobinado y el número de vueltas del bobinado se aumenta más.

De esta manera, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) puede mejorar el rendimiento y el par en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional cuyo tamaño es igual al tamaño del motor de  
5 accionamiento síncrono del punto (1).

La descripción anterior explica que el motor de accionamiento síncrono del punto (1) puede mejorar el rendimiento y el par en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional cuyo tamaño es igual al tamaño del motor de accionamiento síncrono del punto (1). Además, el motor de accionamiento síncrono del punto (1) logra una  
10 reducción de tamaño en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional que tiene la misma salida y el mismo par que el motor de accionamiento síncrono del punto (1).

Por lo tanto, en el motor de accionamiento síncrono del punto (1), se puede satisfacer un alto nivel de torsión, un alto rendimiento y reducción de tamaño.

15 La configuración de que un hueco entre las porciones de extremo distal de los dientes adyacentes entre sí con respecto a la dirección circunferencial es mayor que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal mejora adicionalmente el grado de libertad en el diseño del bobinado. Por lo tanto, por ejemplo, se permite aumentar aún más el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un diámetro mayor para el bobinado. Por consiguiente,  
20 se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(2) El motor de accionamiento síncrono según el punto (1), en el que

la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la  
25 cara de imán y la mitad del ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

La configuración del punto (2) suprime adicionalmente el grado de oposición entre el diente y la parte de yugo auxiliar en un momento en el que una corriente fluye a través del bobinado. Por lo tanto, tras el flujo de una corriente, la fuerza  
30 de atracción que atrae la parte de yugo auxiliar al diente provoca una fuerza de rotación más fuerte. Por lo tanto, se obtiene un alto par de reluctancia. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(3) El motor de accionamiento síncrono según el punto (1), en el que

35 la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que el ancho circunferencial de la cara de imán, siendo el número de caras de imán mayor que el número de los dientes.

La configuración del punto (3) suprime adicionalmente el grado de oposición entre el diente y la parte de yugo auxiliar en un momento en el que una corriente fluye a través del bobinado. En la configuración del punto (3), un estado en el  
40 que parte de la porción de extremo distal está opuesta a la parte de yugo auxiliar y un estado en el que cualquier parte de la parte de extremo distal no está opuesta a la parte de yugo auxiliar se crean mientras el rotor está girando. Se obtiene un mayor par de reluctancia a partir de una fuerza de atracción ejercida cuando el estado se desplaza del estado en el que cualquier parte de la porción de extremo distal no se opone a la parte de yugo auxiliar, al estado en  
45 el que una parte de la porción de extremo distal se opone a la parte de yugo auxiliar. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(4) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (3), en el que

50 el núcleo de estator incluye seis o más dientes, cada uno de los seis o más dientes incluye una porción de extremo distal que se opone a la cara de imán, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

55 La configuración del punto (4) es capaz de suprimir un aumento en la cantidad (volumen) del bobinado de cada diente mientras al mismo tiempo se garantiza suficientemente la cantidad (volumen) de los bobinados de todo el motor de accionamiento síncrono. Por lo tanto, por ejemplo, se permite aumentar adicionalmente el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un diámetro mayor para el bobinado, con la supresión de un aumento en el tamaño del motor de accionamiento síncrono. Como resultado, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y  
60 una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(5) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (4), en el que

la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la  
65 cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar y que un ancho

circunferencial de una porción que tiene el ancho circunferencial más grande del diente, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

5 En el motor de accionamiento síncrono del punto (5), el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, cuyo número es mayor que el número de los dientes, y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar. Adicionalmente, el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es más pequeño que el ancho circunferencial de una porción del diente que tiene el mayor ancho circunferencial. Tal configuración mejora adicionalmente el grado de libertad en el diseño del bobinado. Por lo tanto, por ejemplo, se permite aumentar aún más el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un diámetro mayor para el bobinado. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(6) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (5), en el que

15 la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho anchura circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, y la porción de extremo distal tiene un espesor axial mayor que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

20 La configuración del punto (6) permite una reducción del ancho circunferencial en comparación con una configuración en la que el espesor axial es igual o menor que el ancho circunferencial, a condición de que, por ejemplo, el área de la porción de extremo distal sea fija a un cierto valor. Por lo tanto, el hueco entre dientes se puede asegurar más ampliamente. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

25

(7) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (6), en el que

cuando la porción de extremo distal se ve a lo largo de un eje de rotación del motor de accionamiento síncrono, un borde exterior del bobinado enrollado en el diente con respecto a la dirección circunferencial está situado más externo que un borde exterior de la porción de extremo distal del diente con respecto a la dirección circunferencial.

30 La configuración del punto (7) aumenta un par porque una gran cantidad de bobinado se enrolla en el diente, en comparación con una configuración en la que, por ejemplo, el borde exterior del bobinado con respecto a la dirección circunferencial está ubicado dentro del borde externo de la porción de extremo distal del diente con respecto a la dirección circunferencial. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(8) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (7), en el que

40 la parte de imán permanente está dispuesta radialmente fuera del estator,

cada uno de los dientes incluye una porción de extremo distal que está opuesta a la cara de imán dispuesta radialmente fuera del estator, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

50 En la configuración del punto (8), la cara de imán está dispuesta radialmente fuera del estator, y la porción de extremo distal del diente se opone a la cara de imán que se proporciona fuera del estator. Por lo tanto, el intervalo entre las porciones de extremo distal de los dientes adyacentes es relativamente más amplio que el intervalo entre las porciones proximales (ubicadas opuestas a las porciones de extremo distal) de los dientes adyacentes. Esta configuración aumenta adicionalmente el grado de libertad en la disposición del bobinado. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(9) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (7), en el que

55

la parte de imán permanente está dispuesta radialmente en el interior del estator,

60 cada uno de los dientes incluye una porción de extremo distal que está opuesta a la cara de imán dispuesta radialmente en el interior del estator, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

65 En la configuración del punto (9), la cara de imán está dispuesta radialmente en el interior del estator, y la porción de extremo distal del diente se opone a la cara de imán que se proporciona en el interior del estator. Por lo tanto, el intervalo entre dientes adyacentes con respecto a la dirección circunferencial disminuye en una ubicación más cercana

a la porción de extremo distal con respecto a la dirección radial. Sin embargo, a este respecto, la configuración del punto (9) es capaz de ejercer más el efecto de que el grado de libertad en la disposición del bobinado aumenta porque el ancho circunferencial de la porción de extremo distal es menor que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, cuyo número es mayor que el número de dientes, y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(10) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (7), en el que

10 el rotor está dispuesto estando las caras de imán opuestas a los dientes con respecto a la dirección del eje de rotación del rotor,

15 cada uno de los dientes incluye una porción de extremo distal que está opuesta a la cara de imán con respecto a la dirección del eje de rotación, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

20 En el motor de accionamiento síncrono del punto (10), las caras del imán están dispuestas opuestas a los dientes con respecto a la dirección del eje de rotación del rotor. Por lo tanto, el diente se extiende en la dirección del eje de rotación. Esto ofrece un alto grado de libertad en la disposición del bobinado. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(11) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (10), en el que

25 la parte de imán permanente está formada por un imán de tierras raras,

30 cada uno de los dientes incluye una porción de extremo distal que está opuesta a la cara de imán formada por el imán de tierras raras, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

35 Un imán de tierras raras tiene altas características magnéticas y, por consiguiente, se conforma con un espesor pequeño cuando se usa. En la configuración del punto (11), el número de caras de imán es mayor que el número de dientes. Esto hace que el ancho circunferencial de la cara de imán sea más pequeño, a condición de que el tamaño del motor de accionamiento síncrono sea constante. Como resultado, se ejerce un alto efecto de que el coeficiente de permeabilidad aumente debido a un pequeño espesor del imán. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(12) El motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera del punto (1) a (10), en el que

40 la parte de imán permanente está formada por un imán de ferrita,

45 cada uno de los dientes incluye una porción de extremo distal que está opuesta a la cara de imán formada por el imán de ferrita, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar, siendo el número de caras de imán mayor que el número de dientes.

50 Las características magnéticas del imán de ferrita son inferiores a las características magnéticas de un imán de tierras raras. Por lo tanto, para la producción de flujos magnéticos casi al mismo nivel que los flujos magnéticos producidos por el imán de tierras raras, la parte de imán permanente formada por el imán de ferrita debe tener un espesor mayor que el espesor del imán de tierras raras. En la configuración del punto (12), el número de caras de imán es mayor que el número de dientes. Esto hace que el ancho circunferencial de la cara de imán sea más pequeño, a condición de que el tamaño del motor de accionamiento síncrono sea constante. Una combinación del espesor asegurado por el imán de ferrita y el ancho circunferencial pequeño de la cara del imán mejora el coeficiente de permeabilidad. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

(13) Una unidad de accionamiento que comprende:

60 el motor de accionamiento síncrono según uno cualquiera de (1) a (12); y

un dispositivo de control configurado para suministrar, al bobinado, una corriente de accionamiento que incluye una componente de corriente del eje d.

65 **[0015]** En la configuración del punto (13), el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y, por lo tanto, la velocidad angular  $\omega$  es alta en comparación con la configuración en la que el número de caras de imán

es menor que el número de dientes. Esto puede mantener la impedancia incluso cuando una inductancia disminuye en una configuración en la que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente se establece más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar para la mejora del rendimiento. Por lo tanto, en caso de que se genere una tensión que cancele una fuerza electromotriz basada en el producto de la impedancia y una corriente del eje d, se puede suprimir la componente de corriente del eje d a un nivel bajo. Por consiguiente, también se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un nivel alto en una región de rotación de alta velocidad.

## EFFECTOS VENTAJOSOS DE LA INVENCION

10

**[0016]** La presente invención puede proporcionar un motor de accionamiento síncrono que satisfaga un par alto, un alto rendimiento y una reducción del tamaño a un nivel más alto.

### Breve descripción de los dibujos

15

#### **[0017]**

[Figura 1] (a) es un diagrama que muestra un ejemplo de flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es 2/3 del número de dientes y de tal forma que una porción de extremo distal de cada diente tiene un gran ancho circunferencial; (b) es un diagrama que muestra un ejemplo de flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es 2/3 del número de dientes y de tal forma que una porción de extremo distal de cada diente tiene un ancho circunferencial pequeño; (c) es un diagrama que muestra un ejemplo de flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal forma que una porción de extremo distal de cada diente tiene un gran ancho circunferencial; y (d) es un diagrama que muestra un ejemplo de flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal forma que una porción de extremo distal de cada diente tiene un ancho circunferencial pequeño.

20 [Figura 2] (a) es un gráfico que muestra la relación entre un hueco entre dientes y flujos magnéticos de interconexión; y (b) es un gráfico que muestra la relación entre el hueco entre dientes y los flujos magnéticos de fuga que se producen entre los dientes.

25 [Figura 3] (a) es un gráfico que muestra la relación entre el hueco entre dientes y un par; y (b) es un gráfico que muestra la relación entre el hueco entre dientes y una inductancia.

30 [Figura 4] (a) es un diagrama que muestra los flujos magnéticos de un motor de accionamiento síncrono que incluye una parte de yugo auxiliar dispuesta en un intervalo entre imanes; (b) es un diagrama que muestra los flujos magnéticos de un motor de accionamiento síncrono que no incluye ninguna pieza de yugo auxiliar dispuesta en un intervalo entre imanes; y (c) es un gráfico que muestra los pares de los motores de accionamiento síncronos mostrados en (a) y (b).

35 [Figura 5] (a) es un gráfico ejemplar que muestra detalles de un par de un motor de accionamiento síncrono; y (b) es un gráfico que muestra una corriente suministrada a un motor de accionamiento síncrono.

40

[Figura 6] (a) muestra flujos magnéticos en un estado donde el rotor tiene una fase (ángulo de rotación) de 0° en ángulo eléctrico; y (b) muestra flujos magnéticos en un estado en el que el rotor gira en sentido horario en un ángulo eléctrico de 30°.

45 [Figura 7] (a) muestra flujos magnéticos en un estado donde el rotor tiene una fase (ángulo de rotación) de 0° en ángulo eléctrico; y (b) muestra flujos magnéticos en un estado en el que el rotor gira en sentido horario en un ángulo eléctrico de 30°.

50 [Figura 8] Una vista en sección transversal que muestra esquemáticamente una configuración de esquema de una rueda que incluye un motor de accionamiento síncrono según una primera realización de la presente invención.

55

[Figura 9] Una vista en sección transversal que muestra esquemáticamente la rueda.

[Figura 10] (a) es una vista en sección transversal que muestra esquemáticamente, a escala ampliada, un rotor y un estator en un ejemplo; y (b) es una vista en sección transversal que muestra, a escala ampliada, las partes de imán permanente y la proximidad de las mismas.

[Figura 11] Un diagrama que muestra esquemáticamente, a escala ampliada, cómo se disponen los dientes mostrados en la Figura 10(a) cuando se ven en una dirección radial del rotor.

60



[Figura 12] Un diagrama para la explicación de las operaciones de los dientes, bobinados, partes de imán permanente y partes de yugo auxiliar mostradas en la Figura 10(a).

5 [Figura 13] (a) es un diagrama vectorial que muestra características eléctricas en el motor de accionamiento síncrono de esta realización; (b) es un diagrama vectorial que muestra características eléctricas en un motor de accionamiento síncrono convencional; y (c) es un diagrama vectorial que muestra características eléctricas en un motor de accionamiento síncrono según un ejemplo comparativo.

10 [Figura 14] (a) a (c) son diagramas que muestran esquemáticamente cada uno un ejemplo de conexión de bobinados.

[Figura 15] (a) a (c) son diagramas que muestran esquemáticamente cada uno un ejemplo de conexión de bobinados.

15 [Figura 16] Un diagrama que muestra, a escala ampliada, parte de un motor de accionamiento síncrono ejemplar según una segunda realización.

[Figura 17] (a), (b) y (d) son vistas en sección transversal que muestran, a escala ampliada, una realización de la parte de yugo auxiliar según la presente invención. La Figura 17(c) es una realización que no es según la invención.

### Descripción de las realizaciones

20

**[0018]** Como se describe anteriormente, los presentes inventores han realizado extensos estudios sobre el logro tanto de un alto rendimiento como un alto par, manteniendo al mismo tiempo el tamaño de un motor de accionamiento síncrono. Los detalles de los estudios se describirán con referencia a los dibujos.

25 **[0019]** En un motor de accionamiento síncrono convencional, ha sido una preferencia de diseño que se aumente el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente. También ha sido una preferencia de diseño que el número de caras de imán sea  $2/3$  del número de dientes. Dichas preferencias han sido convencionalmente un saber común en el diseño de un motor de accionamiento síncrono.

30 **[0020]** La Figura 1(a) es un diagrama que muestra los flujos magnéticos producidos por un imán de tal un motor de accionamiento síncrono convencional. En el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a), el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes, y una porción de extremo distal del diente tiene un ancho circunferencial relativamente grande.

35 **[0021]** El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a), en el que la porción de extremo distal del diente tiene un gran ancho circunferencial, es capaz de recoger flujos magnéticos de una amplia región de la cara de imán con una alta eficiencia. Como resultado, una gran cantidad de flujos magnéticos se recoge y se interconecta con los bobinados. En lo sucesivo en el presente documento, los flujos magnéticos de interconexión que se recogen de un imán y se interconectan con un bobinado se denominarán simplemente flujos magnéticos de interconexión.

40

**[0022]** Convencionalmente, no se ha preferido disminuir el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente porque es contrario al saber común mencionado anteriormente.

45 **[0023]** La Figura 1(b) es un diagrama que muestra los flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono en el que una porción de extremo distal de un diente tiene un ancho circunferencial pequeño. El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(b) tiene el mismo tamaño que el tamaño del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a). El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(b) tiene  $2:3$  como la relación del número de caras de imán con respecto al número de dientes, y la relación es la misma que la relación del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a). En el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(b), a diferencia del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a), la porción de extremo distal del diente tiene un ancho circunferencial relativamente pequeño.

50 **[0024]** En el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(b), el diente es capaz de recoger una cantidad menor de flujos magnéticos interconectados de la cara de imán. Más específicamente, el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es pequeño y, por lo tanto, el área sobre la cual se opone la porción de extremo distal a la cara de imán es estrecha. Esto da como resultado una disminución en los flujos magnéticos de interconexión. Es decir, un motor de accionamiento síncrono cuyo diente tiene una porción de extremo distal con un ancho circunferencial pequeño causa flujos magnéticos de interconexión reducidos.

60 **[0025]** Convencionalmente, tampoco se ha preferido establecer el número de caras de imán en más de  $2/3$  del número de dientes, porque es contrario al saber común mencionado anteriormente.

65 **[0026]** La Figura 1(c) es un diagrama que muestra un ejemplo de flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono en el que el número de caras de imán es  $4/3$  del número de dientes. El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(c) tiene el mismo tamaño que el tamaño del motor de accionamiento

síncrono mostrado en la Figura 1(a). El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(c) incluye un diente cuya porción de extremo distal tiene el mismo ancho circunferencial que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente incluida en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a).

5 **[0027]** En el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(c), la porción de extremo distal del diente tiene una anchura circunferencial relativamente grande, de manera que el intervalo entre las porciones de extremo distal de los dientes adyacentes es estrecho. Esto hace que los flujos magnéticos introducidos desde el imán a la porción de extremo distal del diente se filtren parcialmente a través de la porción de extremo distal hacia un imán adyacente.

10

**[0028]** Reducir el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente o establecer que el número de caras de imán sea más de  $2/3$  del número de dientes como se muestra en la Figura 1(b) o (c) no dio un buen resultado. Los resultados mostrados en las Figuras 1(a) a (c) son según los dos tipos de saber común mencionados anteriormente.

15

**[0029]** Los presentes inventores han intentado revocar simultáneamente tanto el saber común de que el número de caras de imán se establece en  $2/3$  del número de dientes como el saber común de que la porción sobresaliente del diente tiene un tamaño mayor. Un resultado del intento se muestra en la Figura 1(d).

20 **[0030]** La Figura 1(d) es un diagrama que muestra un ejemplo de flujos magnéticos producidos por un imán de un motor de accionamiento síncrono en el que el número de caras de imán es  $4/3$  del número de dientes y una porción de extremo distal de un diente tiene un ancho circunferencial pequeño. El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) tiene el mismo tamaño que el tamaño del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(a). El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) incluye un diente cuya porción de extremo distal  
25 tiene el mismo ancho circunferencial que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente incluida en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(b).

**[0031]** El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) incluye una cara de imán cuyo ancho circunferencial es más pequeño que los anchos circunferenciales de las caras de imán incluidas en los motores de  
30 accionamiento síncronos mostrados en la Figura 1(a) y (b). Aunque el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente incluida en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) es pequeño, una reducción en el área sobre la cual la porción de extremo distal del diente está opuesta a la cara de imán se suprime porque el ancho circunferencial de la cara de imán también es pequeño. Por consiguiente, el motor de accionamiento síncrono  
35 mostrado en la Figura 1(d) logra la supresión de una reducción en los flujos magnéticos de interconexión, que de otra manera podrían estar involucrados en el ancho circunferencial pequeño de la porción de extremo distal del diente.

**[0032]** A diferencia del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(c), el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) suprime la aparición de una situación en la que los flujos magnéticos introducidos en la porción de extremo distal del diente se filtran parcialmente a través de la porción de extremo distal hacia un imán  
40 adyacente, porque la porción de extremo distal del diente tiene un ancho circunferencial pequeño. Como resultado, el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) logra la supresión de una disminución en los flujos magnéticos de interconexión.

**[0033]** En el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d), como se describe anteriormente, se  
45 suprime una disminución en los flujos magnéticos de interconexión que está involucrada en un ancho circunferencial pequeño de la porción de extremo distal del diente, y adicionalmente se suprime una disminución en los flujos magnéticos de interconexión debido a una reducción en los flujos magnéticos que escapan a la porción de extremo distal de un diente adyacente. Es decir, en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d), la supresión de una disminución en los flujos magnéticos de interconexión se logra a pesar de que los dos tipos de saber común  
50 mencionados anteriormente se anulan simultáneamente. La relación de los mismos se describirá con referencia a los dibujos.

**[0034]** La Figura 2(a) es un gráfico que muestra un cambio en los flujos magnéticos de interconexión con respecto a un hueco entre dientes.

55

**[0035]** La Figura 2(a) muestra los flujos magnéticos de interconexión FL1 y FL2 de dos motores de accionamiento síncronos que tienen el mismo tamaño. Los flujos magnéticos de interconexión FL1 son flujos magnéticos de interconexión de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de  
60 caras de imán es mayor que el número de dientes. Más específicamente, los flujos magnéticos de interconexión FL1 son flujos magnéticos de interconexión de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $4/3$  del número de dientes. Los flujos magnéticos de interconexión FL2 son flujos magnéticos de interconexión de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes.

65 **[0036]** En el gráfico mostrado en la Figura 2(a), el eje horizontal representa el hueco entre dientes. A medida

que aumenta el espacio entre dientes, disminuye el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente. En el gráfico mostrada en la Figura 2(a), el eje vertical representa los flujos magnéticos de interconexión. Los flujos magnéticos de interconexión se miden como, por ejemplo, una tensión inducida que es una derivada del tiempo de los flujos magnéticos de interconexión. En lo sucesivo en el presente documento, el valor del hueco entre dientes correspondiente al extremo izquierdo de las curvas que muestra los flujos magnéticos de interconexión FL1 y FL2 en la Figura 2(a) se denominará un hueco mínimo.

**[0037]** En la Figura 2(a), se muestran los flujos magnéticos de interconexión entre los dientes.

**[0038]** En un motor de accionamiento síncrono que incluye un gran número de caras de imán, en comparación con un motor de accionamiento síncrono que incluye un pequeño número de caras de imán, la cara de imán tiene un área más pequeña. Por consiguiente, el motor de accionamiento síncrono que incluye un gran número de caras de imán causa una cantidad menor de flujos magnéticos de interconexión por diente que el motor de accionamiento síncrono que incluye un pequeño número de caras de imán. Por lo tanto, si el eje vertical del gráfico mostrado en la Figura 2(a) representó el valor absoluto de la cantidad de cambio en los flujos magnéticos de interconexión, los flujos magnéticos de interconexión FL1 deben ser menores que los flujos magnéticos de interconexión FL2. En la Figura 2(a), sin embargo, los flujos magnéticos de interconexión FL1 y FL2 se muestran de una manera relativa con base en la definición de que la cantidad de flujos magnéticos de interconexión obtenida cuando el hueco entre dientes es el hueco mínimo corresponde al 100 % en ambos de los dos motores de accionamiento síncronos. En otras palabras, los flujos magnéticos de interconexión FL1 y FL2 mostrados en la Figura 2(a) son aquellos obtenidos después de convertirse de tal manera que son comparables entre sí. Por lo tanto, los cambios en los flujos magnéticos de interconexión FL1 y FL2 mostrados en la Figura 2(a) son comparables entre sí sin la necesidad de considerar una diferencia en el número de caras de imán y una diferencia en el área de la cara de imán entre los dos motores de accionamiento síncronos. En cuanto al par promedio por rotación del motor de accionamiento síncrono, el par promedio es proporcional al número de caras de imán. Por lo tanto, la relación de los flujos magnéticos de interconexión de todos los dientes de los dos motores de accionamiento síncronos se puede interpretar como idéntica a la relación mostrada en la Figura 2(a).

**[0039]** Como se muestra en la Figura 2(a), los flujos magnéticos de interconexión FL1 y FL2 disminuyen a medida que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente disminuye de manera que aumenta el hueco entre dientes. Esto se debe a que el área sobre la cual la porción de extremo distal del diente está opuesta a la cara de imán disminuye, como se muestra en la Figura

1(a) a la Figura 1(d). Aquí, la cantidad de disminución en los flujos magnéticos de interconexión FL1 del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán sea mayor que la cantidad de dientes es menor que la cantidad de disminución en los flujos magnéticos de interconexión FL2 del motor de transmisión síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán sea 2/3 del número de dientes. Esto indica que una disminución en los flujos magnéticos de interconexión se suprime, aunque ambos de los dos tipos de saber común mencionados anteriormente se anulen simultáneamente.

**[0040]** La Figura 2(b) es un gráfico que muestra un cambio en los flujos magnéticos de fuga entre dientes con respecto al hueco entre dientes.

**[0041]** Los flujos magnéticos de fuga entre dientes se representan como, por ejemplo, flujos magnéticos que fluyen hacia un diente adyacente 43 a través de un hueco entre dientes d entre flujos magnéticos producidos por un bobinado W de un estator 40 mostrado en la Figura 10(a) que se describirá más adelante. Una mayor cantidad de flujos magnéticos de fuga entre dientes da como resultado una cantidad menor de flujos magnéticos de estator. Los flujos magnéticos que han fluido hacia el diente adyacente 43 no contribuyen a la generación de un par. La cantidad de flujos magnéticos de fuga depende en gran medida de la forma del estator. Los dos motores de accionamiento síncronos tienen el mismo tamaño y, por lo tanto, tienen la misma forma de estator, aunque el número de caras de imán es diferente. Por consiguiente, en el ejemplo mostrado en la Figura 2(b), los flujos magnéticos de fuga entre dientes del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes son idénticos a los flujos magnéticos de fuga entre dientes del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es 2/3 del número de dientes. Por lo tanto, los flujos magnéticos de fuga entre dientes mostrados en la Figura 2(b) indican los flujos magnéticos de fuga entre dientes de estos dos motores de accionamiento síncronos.

**[0042]** Como se muestra en la Figura 2(b), cuando el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es pequeño, de manera que el espacio entre los dientes es grande, la cantidad de flujos magnéticos de fuga entre dientes es pequeña. Esto se debe a que la reluctancia del hueco entre dientes aumenta a medida que aumenta el hueco entre dientes. Una disminución en los flujos magnéticos de fuga entre dientes da como resultado un aumento en los flujos magnéticos de estator.

**[0043]** Las Figuras 1(a) a (d) y las Figuras 2(a), (b) indican las siguientes relaciones (A) y (B) con respecto a los flujos magnéticos de interconexión y los flujos magnéticos de fuga entre dientes de los dos motores de

accionamiento síncronos descritos anteriormente.

(A) En los dos motores de accionamiento síncronos, los flujos magnéticos de interconexión disminuyen a medida que aumenta el hueco entre dientes. Aquí, una disminución en los flujos magnéticos de interconexión FL1 del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán sea mayor que la cantidad de dientes, se suprime en comparación con una disminución en los flujos magnéticos de interconexión FL2 del motor de transmisión síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán sea  $2/3$  del número de dientes.

(B) En los dos motores de accionamiento síncronos, los flujos magnéticos de fuga entre dientes disminuyen a medida que aumenta el hueco entre dientes. Los dos motores de accionamiento síncronos tienen el mismo o sustancialmente el mismo grado de disminución en los flujos magnéticos de fuga entre dientes.

**[0044]** Los presentes inventores han descubierto que, basándose en las relaciones (A) y (B), un cambio en el par con respecto al hueco entre dientes difiere entre los dos motores de accionamiento síncronos descritos anteriormente. A continuación, se describirá una diferencia en el cambio en el par con respecto al hueco entre los dos motores de accionamiento síncrono descrito anteriormente con referencia a los dibujos.

**[0045]** La Figura 3(a) es una gráfica que muestra un cambio en el par con respecto al hueco entre dientes.

**[0046]** La Figura 3(a) muestra un par TQ1 del motor de accionamiento síncrono configurado de manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, y un par TQ2 del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes. Un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $4/3$  del número de dientes se ilustra como un ejemplo del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes.

**[0047]** El par es proporcional al valor del [número de caras de imán x flujos magnéticos de interconexión x flujos magnéticos de estator]. Como se muestra en la Figura 2(a), en el motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, se suprime una disminución en los flujos magnéticos de interconexión FL1 incluso cuando disminuye el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente de manera que el hueco entre dientes aumenta.

**[0048]** Por lo tanto, como se muestra en la Figura 3(a), cuando el espacio entre dientes aumenta, el par TQ2 del motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes, disminuye rápidamente, mientras que el par TQ1 del motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, aumenta una vez. Después de aumentar una vez, el par TQ1 disminuye. La disminución en el par TQ1 se suprime en comparación con el par TQ2 del motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes. Es decir, en comparación con el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes, el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes que logra la supresión de una disminución en el par incluso cuando se reduce el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente. Adicionalmente, en el motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, reducir el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente para aumentar el hueco entre dientes genera una región que proporciona un par más alto que el par obtenido en un caso del mínimo hueco. El motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, es capaz de obtener un alto par motor, por ejemplo, aumentando los flujos magnéticos de estator con la supresión de una disminución en los flujos magnéticos de interconexión.

**[0049]** Los presentes inventores han realizado estudios adicionales sobre la disposición de una parte de yugo auxiliar en un intervalo entre imanes que están adyacentes entre sí con respecto a la dirección circunferencial en un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal forma que una porción de extremo distal de un diente tiene un ancho circunferencial pequeño.

**[0050]** La disposición de una parte de yugo auxiliar en un intervalo entre imanes adyacentes puede provocar un par de reluctancia debido a una fuerza de atracción producida entre la parte de yugo auxiliar y un diente. A este respecto, se ha considerado que disponer una parte de yugo auxiliar en un intervalo entre imanes adyacentes mientras se mantiene el tamaño del motor de accionamiento síncrono conduce a una reducción en los flujos magnéticos de interconexión debido a que el volumen del imán y la cara de imán del imán son reducidos.

**[0051]** Como se menciona anteriormente, los presentes inventores anulaban el criterio común aceptado convencionalmente, e intentaron proporcionar un número mayor de caras de imán que el número de dientes, aunque establecer el número de caras de imán en  $2/3$  del número de dientes ha sido una preferencia de diseño en el motor de accionamiento síncrono convencional. Como resultado del intento, se redujo el volumen de un imán por polo magnético y el área de una cara de imán por polo magnético. En tal condición, los presentes inventores intentaron

disponer una parte de yugo auxiliar entre imanes adyacentes.

- [0052]** La disposición de una parte de yugo auxiliar entre imanes adyacentes da como resultado un volumen reducido adicional del imán por polo magnético y un área reducida adicional de la cara de imán por polo magnético.
- 5 Basándose en la filosofía de diseño convencional para un motor de accionamiento síncrono, se ha considerado desfavorable que el volumen de un imán por polo magnético y el área de una cara de imán por polo magnético se reduzcan en una situación en la que se adoptan imanes del mismo tipo. Sin embargo, los presentes inventores han intentado proporcionar además una parte de yugo auxiliar en un motor de accionamiento síncrono que tiene un número mayor de caras de imán que el número de dientes.
- 10 **[0053]** El diseño probado por los presentes inventores no se ajustaba a la filosofía de diseño convencional para un motor de accionamiento síncrono.
- [0054]** La Figura 4(a) es un diagrama que muestra los flujos magnéticos de un motor de accionamiento síncrono que incluye una parte de yugo auxiliar dispuesta en un intervalo entre imanes. La Figura 4(b) es un diagrama que muestra los flujos magnéticos de un motor de accionamiento síncrono que no incluye ninguna pieza de yugo auxiliar dispuesta en un intervalo entre imanes. La Figura 4(c) es un gráfico que muestra los pares de los motores de accionamiento síncronos mostrados en la Figura 4(a) y la Figura 4(b).
- 15 **[0055]** La Figura 4(a) y la Figura 4(b) son diferentes de la Figura 1(a) a la Figura 1(d), en términos de la forma de ilustrar los flujos magnéticos y en que los flujos magnéticos ilustrados en la Figura 4(a) y la Figura 4(b) también contienen flujos magnéticos causados por una corriente de bobinados. Adicionalmente, los dientes de los motores de accionamiento síncronos mostrados en la Figura 4(a) y la Figura 4(b) tienen anchos más pequeños que el ancho del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d) descrito anteriormente. En los motores de accionamiento síncrono mostrados en la Figura 4(a) y la Figura 4(b), el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar. La suma es equivalente al ancho circunferencial de una cara de polo magnético. Además, en los motores de accionamiento síncrono mostrados en la Figura 4(a) y la Figura 4(b), el número de caras de imán es 4/3 del número de dientes. Estas características son las mismas que las adoptadas en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 1(d).
- 20 **[0056]** En el gráfico mostrado en la Figura 4(c), el eje horizontal representa la fase (ángulo de rotación) de la rotación de un rotor. La fase es el ángulo eléctrico. La Figura 4(c) muestra un par TQ21 del motor de accionamiento síncrono de la Figura 4(a) y un par TQ22 del motor de accionamiento síncrono de la Figura 4(b).
- 25 **[0057]** El motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 4(a) incluye una parte de yugo auxiliar. Por lo tanto, en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 4(a), el imán tiene un ancho circunferencial más pequeño en comparación con el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 4(b). Como resultado, el imán produce una menor cantidad de flujos magnéticos. Sin embargo, como se muestra en la Figura 4(c), el par TQ21 del motor de accionamiento síncrono de la Figura 4(a) es más alto que el par TQ22 del motor de accionamiento síncrono de la Figura 4(b). Esto revela que, en el motor de accionamiento síncrono de la Figura 4(a), la cantidad de par obtenida debido a la presencia de la parte de yugo auxiliar excede la cantidad de disminución en el par causada por el tamaño reducido del imán.
- 30 **[0058]** De esta manera, la disposición de una parte de yugo auxiliar en un intervalo entre imanes adyacentes permite mejorar el par en un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal manera que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es más pequeña que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar.
- 35 **[0059]** La Figura 5(a) es un gráfico ejemplar que muestra detalles de un par de un motor de accionamiento síncrono. La Figura 5(b) es un gráfico que muestra una corriente suministrada a un motor de accionamiento síncrono.
- [0060]** En la Figura 5(a) y la Figura 5(b), el eje horizontal representa la fase (ángulo de rotación) de rotación de un rotor, que es la misma que se representa en el gráfico que se muestra en la Figura 4(c). Mientras el rotor gira a 360° en el ángulo eléctrico, las corrientes  $I_u$ ,  $I_v$  e  $I_w$  suministradas a los bobinados cambian como se muestra en la Figura 5(b). El par mostrado en la Figura 5(a) cambios en la sincronización con el ciclo del cambio de las corrientes  $I_u$ ,  $I_v$  y  $I_w$ .
- 40 **[0061]** La Figura 5(a) muestra un par TQ31 de un motor de accionamiento síncrono, un par TQ32 resultante de un imán y un par TQ33 resultante de una parte de yugo auxiliar. El par TQ31 del motor de accionamiento síncrono es idéntico al par TQ21 que se muestra en la Figura 4(c). El par TQ32 resultante de un imán es un par obtenido con la condición de que la parte de yugo auxiliar proporcionada en el intervalo entre los imanes del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 4(a) se elimine. Bajo tal condición, aparece un espacio de aire en una región de la cual se ha retirado la parte de yugo auxiliar, es decir, en una región entre los imanes adyacentes. El par TQ33 resultante
- 45 **[0058]** De esta manera, la disposición de una parte de yugo auxiliar en un intervalo entre imanes adyacentes permite mejorar el par en un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal manera que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es más pequeña que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar.
- 50 **[0059]** La Figura 5(a) es un gráfico ejemplar que muestra detalles de un par de un motor de accionamiento síncrono. La Figura 5(b) es un gráfico que muestra una corriente suministrada a un motor de accionamiento síncrono.
- 55 **[0060]** En la Figura 5(a) y la Figura 5(b), el eje horizontal representa la fase (ángulo de rotación) de rotación de un rotor, que es la misma que se representa en el gráfico que se muestra en la Figura 4(c). Mientras el rotor gira a 360° en el ángulo eléctrico, las corrientes  $I_u$ ,  $I_v$  e  $I_w$  suministradas a los bobinados cambian como se muestra en la Figura 5(b). El par mostrado en la Figura 5(a) cambios en la sincronización con el ciclo del cambio de las corrientes  $I_u$ ,  $I_v$  y  $I_w$ .
- 60 **[0061]** La Figura 5(a) muestra un par TQ31 de un motor de accionamiento síncrono, un par TQ32 resultante de un imán y un par TQ33 resultante de una parte de yugo auxiliar. El par TQ31 del motor de accionamiento síncrono es idéntico al par TQ21 que se muestra en la Figura 4(c). El par TQ32 resultante de un imán es un par obtenido con la condición de que la parte de yugo auxiliar proporcionada en el intervalo entre los imanes del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 4(a) se elimine. Bajo tal condición, aparece un espacio de aire en una región de la cual se ha retirado la parte de yugo auxiliar, es decir, en una región entre los imanes adyacentes. El par TQ33 resultante
- 65

de una parte de yugo auxiliar es un par obtenido con la condición de que el imán proporcionado en el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 4(a) se elimine. Aparece un hueco de aire en una región de la que se ha retirado el imán. El par TQ33 corresponde a un par de reluctancia. Los detalles del par TQ33 resultante de una parte de yugo auxiliar se describirán a continuación.

5

**[0062]** La Figura 6(a) y la Figura 6(b) son diagramas que muestran los flujos magnéticos del motor de accionamiento síncrono en el que se ha retirado el imán. Suponiendo que la Figura 6(a) muestra el estado en el que la fase (ángulo de rotación) de un rotor es de  $0^\circ$  en ángulo eléctrico, el estado mostrado en la Figura 6(b) corresponde a una situación en la que el rotor gira en sentido horario  $30^\circ$  en el ángulo eléctrico.

10

**[0063]** Según la fase (ángulo de rotación) del rotor, las corrientes  $I_u$ ,  $I_v$  e  $I_w$  mostradas en la Figura 5(b) fluyen a los bobinados del diente correspondiente. En la Figura 6(a) y la Figura 6(b), los bobinados a los que fluyen las corrientes están indicados por las flechas. Por ejemplo, cuando la fase (ángulo de rotación) del rotor es de  $0^\circ$  en ángulo eléctrico, como se muestra en la Figura 6(a), las corrientes  $I_v$  e  $I_w$  fluyen hacia los bobinados de los dientes correspondientes.

15

**[0064]** Tras la rotación del rotor en un ángulo eléctrico de  $30^\circ$  desde el estado mostrado en la Figura 6(a) de manera que el estado mostrado en la Figura 6(b) se crea, el estado actual se cambia para que las corrientes  $I_u$  e  $I_v$  fluyan a los bobinados de los dientes correspondientes. En este momento, la parte de yugo auxiliar ubicada menos avanzada del diente al que fluye la corriente  $I_u$  con respecto a la dirección de rotación es atraída hacia el diente al que fluye la corriente  $I_u$ . Como resultado, como se muestra en la Figura 5(a), el par TQ33 resultante de la parte de yugo auxiliar aumenta en gran medida en la posición que tiene un ángulo eléctrico de  $30^\circ$ . En el estado mostrado en la Figura 6(a), el diente al que fluye la corriente  $I_w$  tiene su porción de extremo distal opuesta a la parte de yugo auxiliar.

20

**[0065]** El par TQ31 del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 5(a) aumenta para ser más grande que el valor del par TQ32 resultante del imán en una cantidad de aumento del par TQ33 resultante de la parte de yugo auxiliar. Por ejemplo, en la posición que tiene un ángulo eléctrico de  $30^\circ$ , el par TQ31 del motor de accionamiento síncrono aumenta en combinación con el gran aumento en el par TQ33 resultante de la parte de yugo auxiliar. Es decir, el par TQ31 del motor de accionamiento síncrono aumenta según una gran amplitud del par de reluctancia. Cuando el par TQ33 resultante de la parte de yugo auxiliar tiene un valor negativo, el par TQ31 del motor de accionamiento síncrono no está tan por debajo del par TQ32 resultante del imán. En otras palabras, la amplitud del par TQ33 contribuye a un aumento del par TQ31 desde y por encima del par TQ32. La razón para ello puede ser considerada como se indica a continuación. Cuando la porción de extremo distal del diente se opone a una parte de yugo auxiliar, los flujos magnéticos producidos en el bobinado del diente fluyen no solo a la parte de yugo auxiliar, sino también a los dos imanes adyacentes a esta parte de yugo auxiliar. Los flujos magnéticos dados desde el diente empujan los flujos magnéticos dados desde uno de los dos imanes, de manera que se produzca una fuerza de repulsión. Por otro lado, se produce una fuerza de atracción entre el diente y el otro de los dos imanes. La fuerza de repulsión y la fuerza de atracción generan un par magnético. La porción de extremo distal de la parte de yugo auxiliar que llega a la posición opuesta al diente causa una disminución en la reluctancia para el bobinado, de manera que se hace que fluya un aumento de la cantidad de flujos magnéticos desde el diente a la parte de yugo auxiliar por el suministro de la corriente al bobinado. Por consiguiente, los flujos magnéticos dirigidos desde el diente a los dos imanes adyacentes a la parte de yugo auxiliar también aumentan, lo que hace que la fuerza de atracción y la fuerza de repulsión sean más fuertes. Como resultado, el par magnético generado por la fuerza de repulsión y la fuerza de atracción aumenta. Aquí, el par TQ32 resultante del imán, que se muestra en la Figura 5(a), es un par obtenido bajo la condición de que la parte de yugo auxiliar se retire, el par TQ32 no incluye un aumento en el par de imán resultante de la parte de yugo auxiliar. Esta sería la razón por la cual la amplitud del par TQ33, que corresponde al par de reluctancia, contribuye a un aumento del par TQ31 desde y por encima del par TQ32.

25

30

35

40

45

**[0066]** Como se ha descrito hasta ahora, el motor de accionamiento síncrono está configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar es capaz de mejorar un par aprovechando un par de reluctancia causado por la parte de yugo auxiliar.

50

**[0067]** Los presentes inventores también han realizado estudios sobre el par de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente es mayor que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar.

55

**[0068]** La Figura 7(a) y la Figura 7(b) son diagramas que muestran los flujos magnéticos de un motor de accionamiento síncrono configurado de tal manera que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente es mayor que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar. Suponiendo que la Figura 7(a) muestra el estado en el que la fase (ángulo de rotación) de un rotor es de  $0^\circ$  en ángulo eléctrico, el estado mostrado en la Figura 7(b) corresponde a una situación en la que el rotor gira en sentido horario  $30^\circ$  en el ángulo eléctrico. De forma similar a la Figura 6(a) y

60

65

la Figura 6(b), la Figura 7(a) y la Figura 7(b) muestran el motor de accionamiento síncrono en el que se ha retirado el imán.

**[0069]** En la Figura 7(a) y la Figura 7(b), el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente es mayor que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar. Por lo tanto, cuando una corriente fluye a través de un bobinado, la parte de yugo auxiliar se opone a un diente enrollado con el bobinado. Por lo tanto, la parte de yugo auxiliar es atraída hacia el diente en cierta medida. Por ejemplo, cuando el rotor está ubicado en la posición que tiene un ángulo eléctrico de 30° como se muestra en la Figura 7(b), la parte de yugo auxiliar es completamente opuesta a la porción de extremo distal del diente correspondiente a la corriente lu, que es diferente del estado mostrado en la Figura 6(b). Por consiguiente, una fuerza de rotación causada por una fuerza de atracción que atrae la parte de yugo auxiliar al diente cuando fluye la corriente lu es débil. En otras palabras, un par de reluctancia es bajo. La Figura 5(a) muestra un par TQ34 que es un par resultante de la parte de yugo auxiliar en las condiciones mostradas en la Figura 7(a) y la Figura 7(b), es decir, bajo la condición de que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente sea mayor que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar. En la Figura 5(a), la amplitud del par TQ34 es menor que la amplitud del par TQ33. Por lo tanto, la configuración en la que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente es mayor que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar proporciona un par de reluctancia reducido.

**[0070]** En contraste, en el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal de un diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de una cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar, la parte de yugo auxiliar no se opone a un diente cuando la corriente lu fluye a través de una bobina enrollada en el diente. Es decir, la parte de yugo auxiliar está alejada de la porción de extremo distal del diente con respecto a la dirección circunferencial. Por lo tanto, cuando la corriente lu fluye, una fuerza de atracción que atrae el diente a la parte de yugo auxiliar provoca una fuerte fuerza de rotación. Como resultado, se obtiene un alto par de reluctancia, como se representa por el par TQ33 mostrado en la Figura 5(a).

**[0071]** Como se ha descrito hasta ahora, el motor de accionamiento síncrono está configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar es capaz de obtener un alto par de reluctancia debido a la parte de yugo auxiliar.

**[0072]** Además, en el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es menor que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar, el hueco entre dientes es grande, lo que mejora drásticamente el grado de libertad en el diseño del bobinado. Por ejemplo, durante un proceso de fabricación, un cable o una parte de un aparato de fabricación atraviesa el hueco entre dientes. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 10(a) que se describirá más adelante, un gran hueco entre dientes proporciona un alto grado de libertad en la selección de una técnica para enrollar el cable en el diente para formar el bobinado y en la selección del tipo de aparato de fabricación. Adicionalmente, una ranura SL que es grande en respuesta a una pequeña porción de extremo distal del diente permite un aumento en el número de vueltas de un bobinado W. Además, por ejemplo, el estator 40 mostrado en la Figura 10(a) se puede fabricar formando un bobinado W sin enrollarlo en ningún diente 43 y después insertando el diente 43 en el bobinado W. Esto puede reducir el intervalo entre los bobinados W adyacentes entre sí. Como resultado, se puede aumentar el número de vueltas del bobinado. Como la porción de extremo distal del diente tiene un ancho circunferencial más pequeño, de manera que el espacio entre dientes sea mayor, se mejora el grado de libertad en el diseño del bobinado. Por consiguiente, el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es menor que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de una parte de yugo auxiliar es capaz de mejorar un par aumentando el número de vueltas del bobinado.

**[0073]** Por lo tanto, el motor de accionamiento síncrono está configurado de tal manera que una parte de yugo auxiliar está dispuesta en un intervalo entre los imanes, de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar puede aprovechar un par de reluctancia y mejorar un par, por ejemplo, aumentando los flujos magnéticos de estator con la supresión de una disminución en los flujos magnéticos de interconexión o aumentando el número de vueltas del bobinado. De esta manera, los presentes inventores han descubierto que anular simultáneamente los dos tipos de saber común mencionados anteriormente con el uso combinado de diseños que no se ajustan a la filosofía de diseño convencional para un motor de accionamiento síncrono conduce a la mejora de un par del motor de accionamiento síncrono.

**[0074]** A continuación, se describirá la impedancia del bobinado.

**[0075]** La Figura 3(b) es un gráfico que muestra un cambio en la inductancia en relación con el hueco entre  
5 dientes.

**[0076]** Como se muestra en la Figura 3(b), cuando el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del  
diente es pequeño, de manera que el hueco entre dientes es grande, la inductancia es baja. Esto se debe a que: el  
hueco entre dientes se incluye en una trayectoria de flujo magnético a través de la cual los flujos magnéticos  
10 producidos por el bobinado pasan, y un gran hueco entre dientes conduce a una alta reluctancia del hueco entre  
dientes, lo que aumenta la reluctancia de toda la trayectoria del flujo magnético.

**[0077]** Una corriente suministrada al bobinado del motor de accionamiento síncrono depende de la impedancia  
del bobinado. Un componente de CA de la impedancia es el producto  $\omega L$  de la velocidad angular  $\omega$  y la inductancia L.  
15 El motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el  
número de dientes tiene una velocidad angular más alta  $\omega$  que la del motor de accionamiento síncrono configurado  
de tal manera que el número de caras de imán es 2/3 del número de dientes. Como se muestra en la Figura 3(b),  
cuando el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es pequeño, de manera que el hueco entre  
dientes es grande, la inductancia L es baja. Por lo tanto, incluso cuando el número de caras de imán es mayor que el  
20 número de dientes, de manera que la velocidad angular  $\omega$  es alta, se puede mantener la componente de CA  $\omega L$  de la  
impedancia. Para ser específicos, se puede suprimir un aumento en la componente de CA  $\omega L$  de la impedancia, que  
es causada por un aumento en la velocidad angular  $\omega$ . Como resultado, se puede asegurar una corriente suministrada  
al motor de accionamiento síncrono.

**[0078]** Además, en el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que una parte de yugo  
auxiliar se dispone en un intervalo entre imanes, de tal manera que el número de caras de imán es mayor que el  
número de dientes, y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del diente es menor  
que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal  
de la parte de yugo auxiliar, el hueco entre dientes es grande, lo que mejora drásticamente el grado de libertad en el  
30 diseño del bobinado. Aquí, por ejemplo, en un caso en el que un cable o una parte de un aparato de bobinado atraviesa  
el hueco entre dientes durante el proceso de fabricación, se puede usar un cable que tenga un gran diámetro. Además,  
por ejemplo, la ranura que es grande en respuesta a la pequeña porción de extremo distal 43c del diente permite el  
uso de un cable que tenga un gran diámetro. Además, por ejemplo, el estator 40 se puede fabricar formando un  
bobinado W sin enrollarlo en ningún diente 43 y después insertando el diente 43 en el bobinado W. Esto puede reducir  
35 el intervalo entre los bobinados W adyacentes entre sí, y por lo tanto, permite el uso de un alambre de gran diámetro.  
Como resultado, se puede disminuir una resistencia R del bobinado. Por lo tanto, al aumentar la corriente suministrada  
al bobinado, se mejoran tanto el par como el rendimiento.

**[0079]** Como se ha descrito hasta ahora, el motor de accionamiento síncrono, configurado de tal manera que  
40 una parte de yugo auxiliar se dispone en un intervalo entre imanes, de tal manera que el número de caras de imán es  
mayor que el número de dientes, y de tal forma que el ancho circunferencial de una porción de extremo distal del  
diente es menor que la suma del ancho circunferencial de la cara de imán, y el ancho circunferencial de una superficie  
de extremo distal de la parte de yugo auxiliar es capaz de mejorar un rendimiento y un par, en comparación con el  
motor de accionamiento síncrono convencional con el mismo tamaño. Cuál del par y el rendimiento se va a mejorar  
45 más se puede ajustar, por ejemplo, cuál del diámetro del bobinado y el número de vueltas del bobinado se aumenta  
más.

**[0080]** De esta manera, los presentes inventores, que han descubierto que anular simultáneamente los dos  
tipos de saber común mencionados anteriormente que permite que el motor de accionamiento síncrono satisfaga un  
50 par alto, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un nivel alto, han logrado la presente invención.

**[0081]** A continuación, la presente invención se describirá basándose en una realización preferida con  
referencia a los dibujos. En esta realización, un motor de accionamiento síncrono que impulsa una rueda de un  
vehículo se describirá como un ejemplo del motor de accionamiento síncrono según la presente invención.  
55

**[0082]** La Figura 8 es una vista en sección transversal que muestra esquemáticamente una configuración de  
esquema de una rueda 12 que incluye un motor de accionamiento síncrono SG según una primera realización de la  
presente invención. La Figura 9 es una vista en sección transversal que muestra esquemáticamente la rueda 12.

**[0083]** La rueda 12 mostrada en la Figura 8 se proporciona a un vehículo (no mostrado). El vehículo puede ser,  
60 por ejemplo, un vehículo eléctrico del tipo de silla de montar. El vehículo eléctrico tipo silla de montar es un vehículo  
tipo silla de montar que se impulsa eléctricamente. Los ejemplos del vehículo tipo silla de montar incluyen un vehículo  
de dos ruedas, un vehículo de tres ruedas y un vehículo para uso fuera de la carretera (vehículo todoterreno).

**[0084]** La rueda 12 incluye un eje central 12a. El centro del eje central 12a sirve como eje de rotación C de la  
65



rueda 12. El eje de rotación C es una línea central que se extiende en la dirección longitudinal del eje central 12a. El eje central 12a se soporta en el cuerpo de vehículo (no se muestra) del vehículo. La cubierta 12b (véase la Figura 9) está soportada de manera giratoria en el eje central 12a a través de un rodamiento 12p (véase la Figura 7). La cubierta 12b no se muestra en la Figura 8. La cubierta 12b tiene una forma circular cuando se ve en la dirección axial de la  
 5 rueda 12. Una parte de cubo 12h está unida a y dentro de una porción circunferencial exterior de la cubierta 12b. La parte de cubo 12h tiene una forma cilíndrica, y tiene una abertura que se extiende a través de la rueda 12 en la dirección axial. En otras palabras, la cubierta 12b cubre la abertura de la parte de cubo 12h que tiene la forma cilíndrica. El motor de accionamiento síncrono SG se monta dentro de la parte de cubo 12h con respecto a una dirección radial de la rueda 12. En otras palabras, el motor de accionamiento síncrono SG se proporciona dentro de la parte de cubo  
 10 12h. Los detalles del motor de accionamiento síncrono SG se describirán más adelante. En esta realización, el eje central 12a no gira, pero la cubierta 12b y la parte de cubo 12h giran juntas. El eje de rotación C del motor síncrono SG es el mismo que el eje de rotación C de la rueda 12. En esta realización, la dirección axial X, la dirección radial Y y la dirección circunferencial del motor síncrono SG son iguales que la dirección axial X, la dirección radial Y y la dirección circunferencial de la rueda 12, respectivamente.

15 **[0085]** Una parte de llanta 12d está colocada en el lado circunferencial exterior de la parte de cubo 12h con respecto a la dirección radial de la rueda 12. La parte de llanta 12d tiene una forma anular cuando se ve en la dirección axial de la rueda 12. El diámetro de la parte de llanta 12d es mayor que el diámetro de la parte de cubo 12h. La parte de cubo 12h y la parte de llanta 12d están conectadas entre sí por una parte de radio 12g. La parte de cubo 12h, la  
 20 parte de llanta 12d y la parte de radio 12g están formadas integralmente como una sola pieza hecha de un material no magnético, que, en esta realización, es un elemento hecho de aluminio. Aquí, el material de la parte de cubo 12h, la parte de llanta 12d y la parte de radio 12g no se limita al aluminio, siempre que sea un material no magnético. Por ejemplo, pueden estar hechos de magnesio o una resina reforzada. Un procedimiento para formar la parte de cubo 12h, la parte de llanta 12d y la parte de radio 12g no se limita particularmente. Por ejemplo, se puede adoptar la  
 25 fundición, tal como la fundición a baja presión, la forja o similares, para formar integralmente la parte de cubo 12h, la parte de llanta 12d y la parte de radio 12g. También puede ser aceptable que la parte de cubo 12h, la parte de llanta 12d y la parte de radio 12g sean elementos separados, y la parte de cubo 12h, la parte de llanta 12d y la parte de radio 12g estén ensambladas. Un neumático (no mostrado) está montado en el lado circunferencial exterior de la parte de llanta 12d con respecto a la dirección radial de la rueda 12. La parte de llanta 12d soporta el neumático. La parte de  
 30 llanta 12d tiene un orificio pasante 12e que se extiende a través de la parte de llanta 12d en la dirección radial de la rueda 12. Una válvula (no mostrada) del neumático sobresale a través del orificio pasante 12e desde el lado circunferencial exterior al lado circunferencial interior de la parte de llanta 12d. La rueda 12 de esta realización permite el uso de un espacio muerto que existe radialmente dentro de la rueda 12.

35 **[0086]** El motor de accionamiento síncrono SG de esta realización es un motor de rueda del rotor externo de tipo de accionamiento directo. El motor de accionamiento síncrono SG incluye un rotor 30 y un estator 40. El rotor 30 incluye partes de imán permanente 37, una parte de yugo posterior 34 y partes de yugo auxiliar 35. En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el rotor 30 es un rotor externo y el estator 40 es un estator interno.

40 **[0087]** El motor de accionamiento síncrono SG es un motor de rueda, y se proporciona dentro de la parte de cubo 12h con respecto a la dirección radial de la rueda 12. En otras palabras, el rotor 30 (las partes de imán permanente 37 y la parte de yugo posterior 34) y el estator 40 (un núcleo de estator ST y los bobinados W) se proporcionan dentro de la parte de cubo 12h con respecto a la dirección radial de la rueda 12. El motor de accionamiento síncrono SG es un motor eléctrico del rotor externo, y el rotor 30 (las partes de imán permanente 37,  
 45 la parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35) se encuentran fuera del estator 40 (el núcleo de estator ST y los bobinados W) con respecto a la dirección radial de la rueda 12. El motor de accionamiento síncrono SG también incluye un elemento de soporte 60. El elemento de soporte 60 está fijo al eje central 12a, y soporta el núcleo de estator ST. El núcleo de estator ST se fija al elemento de soporte 60. El núcleo de estator ST no gira con respecto al elemento de soporte 60 y el eje central 12a. Aunque esta realización describe un caso en el que el motor de  
 50 accionamiento síncrono SG incluye el elemento de soporte 60, la presente invención no se limita a este ejemplo. También es aceptable que el motor de accionamiento síncrono SG no incluya el elemento de soporte 60.

**[0088]** El elemento de soporte 60 es un elemento hecho de hierro formado como una sola pieza, e incluye una parte cilíndrica externa 61, una parte de acoplamiento 62 y una parte cilíndrica interna 63. La parte cilíndrica externa  
 55 61 tiene una forma cilíndrica con una abertura que se extiende a través de la misma en la dirección axial de la rueda 12. El núcleo de estator ST se proporciona en una periferia exterior de la parte cilíndrica exterior 61 con respecto a la dirección radial de la rueda 12.

**[0089]** La parte cilíndrica interior 63 tiene una forma cilíndrica con una abertura que se extiende a través de la  
 60 misma en la dirección axial de la rueda 12. El eje central 12a se pasa a través de la abertura de la parte cilíndrica interior 63, y la parte cilíndrica interior 63 está fija al eje central 12a. De esta manera, el elemento de soporte 60 se fija al eje central 12a.

**[0090]** La parte de acoplamiento 62 se proporciona entre la parte cilíndrica exterior 61 y la parte cilíndrica  
 65 interior 63. La parte de acoplamiento 62 tiene una forma anular en una vista lateral. En esta realización, el elemento

de soporte 60 tiene una forma de tipo disco. Aquí, también puede ser posible que el elemento de soporte 60 tenga un orificio pasante que se extienda a través del mismo en la dirección axial de la rueda 12 o tenga una nervadura que se extienda en la dirección radial de la rueda 12. La parte de acoplamiento 62 puede configurarse como una pluralidad de partes de radios (radios sólidos) que acoplan la parte cilíndrica exterior 61 y la parte cilíndrica interior 63 entre sí.

5

**[0091]** El estator 40 incluye el núcleo de estator ST que tiene una forma anular, y los bobinados W. El núcleo de estator ST se proporciona fuera del elemento de soporte 60 con respecto a la dirección radial de la rueda 12, y se fija al elemento de soporte 60. El núcleo de estator ST incluye una base 44 que tiene una forma anular y la pluralidad de dientes 43. La base 44 está ubicada en el interior con respecto a la dirección radial de la rueda 12. La pluralidad de dientes 43 sobresale hacia fuera de la base 44 con respecto a la dirección radial de la rueda 12. La base 44 funciona como un yugo para evitar la fuga de una fuerza magnética. El núcleo de estator ST y el elemento de soporte 60 están aislados eléctricamente entre sí. Este aislamiento sirve para suprimir una corriente de Foucault.

10

**[0092]** El núcleo de estator ST se obtiene, por ejemplo, mediante placas de acero de silicio delgadas apiladas en la dirección axial. El núcleo de estator ST incluye una pluralidad de dientes 43 que se extienden integralmente radialmente hacia afuera. La pluralidad de dientes 43 están separados entre sí por las ranuras SL con respecto a la dirección circunferencial. En esta realización, treinta y seis dientes 43 en total están dispuestos a intervalos con respecto a la dirección circunferencial. El núcleo de estator ST incluye treinta y seis dientes 43 en total. Es decir, el núcleo de estator ST del motor de accionamiento síncrono SG incluye seis o más dientes 43. Los dientes 43 están dispuestos con un ángulo de inclinación constante. Por lo tanto, cada diente 43 está dispuesto en un ángulo de inclinación de 60° o menos en un ángulo mecánico. El número de dientes 43 es igual al número de ranuras SL.

15

20

**[0093]** El bobinado W está enrollado en cada diente 43. El bobinado W está en la ranura SL. La pluralidad de dientes 43 incluidos en el núcleo de estator ST tiene porciones en las que se enrollan los bobinados. El bobinado W pertenece a cualquiera de las fases U, V y W. Los bobinados W están dispuestos en el orden de la fase U, la fase W y la fase V, por ejemplo. Dado que toda la pluralidad de dientes 43 tiene porciones en las que se enrollan los bobinados, todos los dientes 43 pueden producir flujos magnéticos que contribuyen a un par debido a la corriente del bobinado W. Por lo tanto, se ejerce un alto par.

25

**[0094]** En el núcleo de estator ST del motor de accionamiento síncrono SG que incluye seis o más dientes 43, la cantidad (volumen) de los bobinados W de todo el motor de accionamiento síncrono SG puede garantizarse suficientemente, con la supresión del número de vueltas del bobinado de cada diente, lo que conduce a la supresión de un aumento en el perímetro por vuelta de un cable que constituye el bobinado. Por consiguiente, se puede suprimir un aumento en la cantidad (volumen) del bobinado W de cada diente mientras se asegura suficientemente la cantidad (volumen) de los bobinados W de todo el motor de accionamiento síncrono SG. Por lo tanto, por ejemplo, se permite aumentar el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable con un gran diámetro, con la supresión de un aumento en el tamaño del motor de accionamiento síncrono SG.

30

35

**[0095]** El rotor 30 incluye las partes de imán permanente 37, la parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35.

40

**[0096]** Las partes de imán permanente 37 están dispuestas dentro de una porción de conexión de radio 12r de la parte de cubo 12h y fuera del núcleo de estator ST con respecto a la dirección radial de la rueda 12. Las partes de imán permanente 37, cada una de las cuales está opuesta al núcleo de estator ST, se disponen a intervalos en la dirección circunferencial de la rueda 12. La parte de yugo auxiliar 35 está dispuesta en este intervalo. En esta realización, el número de las partes de imán permanente 37 es cuarenta y ocho, que es mayor que el número de dientes 43. Por lo tanto, el número de polos magnéticos en las partes de imán permanente 37 es cuarenta y ocho. En otras palabras, el número de polos en el motor de accionamiento síncrono SG es cuarenta y ocho. El número de polos magnéticos en las partes de imán permanente 37 (el número de polos en el motor eléctrico) de la presente invención no está particularmente limitado. No es esencial que el número de polos sea igual al número de piezas de imán. Cada una de las partes de imán permanente 37 tiene un par de polo N y polo S (37i, 37o) (véase la Figura 10(a)). Cada una de las partes de imán permanente 37 está dispuesta de tal manera que el polo S y el polo N están lado a lado con respecto a la dirección radial de la rueda 12, en otras palabras, de tal manera que el polo S y el polo N están orientados en direcciones opuestas con respecto a la dirección radial. Las partes de imán permanente 37 están dispuestas a intervalos en la dirección circunferencial de la rueda 12 de tal manera que el polo N y el polo S aparecen alternativamente.

45

50

55

**[0097]** La parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35 están formadas integralmente con la parte de cubo 12h. La parte de cubo 12h, la parte de llanta 12d y la parte de radio 12g están integradas con la parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35, para formar una sola pieza. Las partes de imán permanente 37 se fijan a la parte de cubo 12h con la interposición de la parte de yugo posterior 34 entre las mismas. Es decir, el motor de accionamiento síncrono SG se fija a la parte de cubo 12h sin interposición de ningún mecanismo de transmisión de potencia indirecta (tal como una correa, una cadena, un engranaje o un reductor de velocidad). Más específicamente, las superficies circunferenciales exteriores 37a (véase la Figura 10(a)) de las partes de imán permanente 37 se fijan a una superficie circunferencial interior de la parte de cubo 12h con la interposición de la parte de yugo posterior 34. El

60

65

motor de accionamiento síncrono SG es un el motor eléctrico del tipo de accionamiento directo, y las partes de imán permanente 37, la parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35 que constituyen el rotor 30 giran junto con la parte de cubo 12h alrededor del eje de rotación C de la rueda 12. Por lo tanto, cuando se activa el motor de accionamiento síncrono SG, el número de rotaciones de la parte de imán permanente 37 es igual al número de rotaciones de la parte de cubo 12h, la parte de radio 12g y la parte de llanta 12d. Dado que no se interpone ningún mecanismo de transmisión de potencia indirecta, se obtiene una alta eficiencia de transmisión de energía a la parte de cubo 12h.

**[0098]** La parte de yugo posterior 34 se proporciona opuesta a las caras de imán 37b de las partes de imán permanente 37 con respecto a la dirección opuesta entre el núcleo de estator ST y las caras de imán 37b de las partes de imán permanente 37 (véase la Figura 10(a)). La dirección de oposición entre el núcleo de estator ST y las caras de imán 37b corresponde a la dirección radial Y del motor de accionamiento síncrono SG de esta realización. La parte de yugo posterior 34 está dispuesta en el interior de la porción de conexión de radio 12r de la parte de cubo 12h y fuera de las partes de imán permanente 37 y las partes de yugo auxiliar 35 con respecto a la dirección radial de la rueda 12.

**[0099]** Las partes de yugo auxiliar 35, cada una de las cuales está dispuesta en un intervalo entre las partes de imán permanente 37 que están adyacentes entre sí con respecto a la dirección circunferencial de la rueda 12, se oponen al núcleo de estator ST. Las partes del yugo auxiliar 35 están dispuestas dentro de las superficies circunferenciales exteriores 37a de las partes de imán permanente 37 y fuera del núcleo de estator ST con respecto a la dirección radial de la rueda 12. Las partes de yugo auxiliar 35 cooperan con el núcleo de estator ST para producir una fuerza de atracción entre los mismos, generando de este modo un par de reluctancia. El ancho circunferencial de la parte de yugo auxiliar 35 es, por ejemplo, más pequeño que el ancho circunferencial de la parte de imán permanente 37. La parte de yugo posterior 34 es una parte que tiene una forma cilíndrica con una abertura que se extiende a través de la misma en la dirección axial de la rueda 12. Las partes de yugo auxiliar 35 son partes que sobresalen de una superficie circunferencial interior de la parte de yugo posterior 34 hacia el eje de rotación C de la rueda 12. En esta realización, la parte de yugo posterior 34 está integrada con las partes de yugo auxiliar 35. Es decir, las partes de yugo auxiliar 35 se proporcionan a la parte de yugo posterior 34. La parte de yugo posterior 34 soporta las partes de imán permanente 37. Cada una de las partes de imán permanente 37 puede soportarse directamente en la parte de yugo posterior 34, por ejemplo, fijándose a la parte de yugo posterior 34. Cada una de las partes de imán permanente 37 puede soportarse indirectamente en la parte de yugo posterior 34, por ejemplo, colocándose entre las partes de yugo auxiliar adyacentes 35. Cómo se soportan las partes de imán permanente 37 no está particularmente limitado. El rotor 30, junto con la parte de cubo 12h, girando en una dirección de rotación normal T hace que la rueda 12 (véase la figura 8) gire. La parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35 son elementos hechos de un material magnético. Por ejemplo, están hechas de hierro. La parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35 están formadas integralmente, por ejemplo, por placas de acero de silicio delgadas que están apiladas en la dirección axial. Las partes de yugo auxiliar 35 se oponen a los dientes 43 y, por lo tanto, una gran cantidad de flujos magnéticos causados por las corrientes de los bobinados W entran en las partes de yugo auxiliar 35. Una pila de placas de acero sirve para suprimir una corriente de Foucault de las Partes de yugo auxiliar 35. La parte de yugo posterior 34 y la parte de cubo 12h están aisladas eléctricamente entre sí. Este aislamiento sirve para suprimir una corriente de Foucault. Basta con que la parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35 estén hechas de un material magnético, y pueden estar hechas de un material en polvo compactado a base de hierro, por ejemplo. Como alternativa, la parte de yugo posterior 34 y las partes de yugo auxiliar 35 pueden estar formadas por elementos en forma de tira hechos de un acero magnético que se enrollan de la misma manera que para el núcleo de estator ST.

**[0100]** En el motor de accionamiento síncrono SG según esta realización, como se describe anteriormente, el número P de caras de imán del rotor 30 es cuarenta y ocho, mientras que el número de dientes 43 es treinta y seis. La relación del número P de las caras de imán del rotor 30 al número de dientes 43 es 4:3. Es decir, la cantidad de caras de imán incluidas en el rotor 30 es mayor que la cantidad de dientes 43. La relación entre la cantidad de caras de imán del rotor 30 y la cantidad de dientes 43 no se limita a este ejemplo. Un ejemplo no limitativo del límite superior de la relación del número P de las caras de imán del rotor 30 al número de dientes 43 es 4/3. Es preferible que el número de caras de imán incluidas en el rotor 30 sea igual a 4/3 del número de dientes 43. Dado que el número de caras del polo magnético es un múltiplo de 2, la disposición alterna del polo N y del polo S es fácil. Dado que el número de dientes es un múltiplo de 3, es fácil un control basado en una corriente trifásica. Adicionalmente, no es probable que tenga lugar una desviación durante la rotación. En esta realización, el número de caras de imán también puede denominarse número de polos magnéticos.

**[0101]** En un caso en el que el número de caras de imán incluidas en el rotor 30 es 4/3 del número de dientes 43, no es necesario que la relación entre el número P de caras de imán del rotor 30 y el número de los dientes 43 sea exactamente 4:3. Por ejemplo, en algunos casos, las ranuras SL del estator 40 pueden no estar formadas parcialmente, para permitir que se monte una placa de control en el estator 40. En tal caso, la distancia entre algunas ranuras SL es diferente de la distancia entre otras ranuras SL. Es decir, no se proporciona una ranura SL en una posición, aunque normalmente se supone que la ranura SL se proporciona en la posición. En este caso, puede ser posible que el número de dientes 43 se determine suponiendo que la ranura SL se proporcione en la posición en la que normalmente se supone que se forma la ranura SL. Lo mismo se aplica al número de polos magnéticos del rotor

30. Para ser específicos, cuando los polos magnéticos y los dientes están dispuestos de manera que formen una estructura (4:3) que satisfaga la relación de que la proporción del número de polos magnéticos con respecto al número de dientes es 4:3, se puede considerar que el número de caras de imán incluidas en el rotor 30 es sustancialmente 4/3 del número de dientes 43. En otras palabras, se puede considerar que el motor de accionamiento síncrono SG 5 tiene, como su configuración básica, la configuración de una máquina eléctrica giratoria que tiene la estructura (4:3). Lo mismo se aplica a un caso en el que el motor de accionamiento síncrono SG tiene una relación distinta de 4:3.

**[0102]** El motor de accionamiento síncrono SG está conectado a un controlador CT. El motor de accionamiento síncrono SG y el controlador CT constituyen una unidad de accionamiento (no mostrada) para accionar la rueda 12 10 que es un objeto para impulsar. En otras palabras, la unidad de accionamiento incluye el motor de accionamiento síncrono SG y el controlador CT. El controlador CT corresponde al dispositivo de control de la presente invención. El controlador CT puede tener una función como controlador. El controlador CT puede conectarse al motor de accionamiento síncrono SG a través de un controlador.

15 **[0103]** El motor de accionamiento síncrono SG también incluye sensores para detectar la fase de las partes de imán permanente giratorias (imanes de ferrita) 37.

**[0104]** En esta realización, el motor de accionamiento síncrono SG incluye tres sensores 36A, 36B y 36C. Los sensores 36A a 36C son sensores magnéticos compuestos por elementos Hall. Los sensores 36A a 36C detectan la 20 fase de las partes de imán permanente 37 que giran en una ubicación fuera de los bobinados W con respecto a la dirección radial de la rueda 12. Los sensores 36A a 36C transmiten, al controlador CT, señales que indican resultados de la detección.

**[0105]** El controlador CT controla la corriente suministrada a los bobinados W del estator 40. Más 25 específicamente, el controlador CT cambia (por ejemplo, aumenta o disminuye) la corriente suministrada al bobinado de cada una de las fases U, fase V, y la fase W. Como cambiar la corriente no está particularmente limitado. En un posible ejemplo, las corrientes de onda sinusoidal cuyas fases cambian unas de otras pueden suministrarse a los bobinados de las fases respectivas, de manera que se cambie la corriente suministrada al bobinado de cada fase. En otro ejemplo posible, las corrientes de onda cuadrada cuyas fases cambian unas de otras pueden suministrarse a los 30 bobinados de las fases respectivas, de manera que la corriente suministrada al bobinado de cada fase se cambie (la denominada conducción de 120°). De esta manera, el rotor 30 gira.

**[0106]** Cada uno de los sensores 36A a 36C se proporciona en una posición tal que la fase de una parte de imán permanente (imán de ferrita) 37 detectada por cada uno de los sensores 36A a 36C en el estado en el que el 35 rotor 30 está girando está avanzada con respecto a la fase de una tensión inducida producida en el bobinado W por la parte de imán permanente 37. Por lo tanto, la corriente que el controlador CT suministra al bobinado W en función de la temporización de la señal dada desde cada uno de los sensores 36A a 36C avanza en relación con la fase de la tensión inducida producida en el bobinado W por la parte giratoria de imán permanente (imán de ferrita) 37. El avance permite el uso eficaz del par de reluctancia ejercido por las partes de yugo auxiliar 35.

40 **[0107]** La fase de la tensión inducida producida en el bobinado W por la parte de imán permanente (imán de ferrita) 37 se puede obtener, por ejemplo, midiendo la tensión durante un periodo de tiempo en el que no se realiza la alimentación del bobinado W. Como alternativa, la fase de la tensión inducida producida en el bobinado W por la parte de imán permanente (imán de ferrita) 37 se puede obtener, por ejemplo, midiendo la tensión mientras se gira la rueda 45 12 debido a una fuerza externa en el estado donde se conduce. no se realiza, es decir, bajo el estado donde no se realiza la conducción eléctrica, es decir, en el estado en el que no se realiza el suministro de la corriente desde el controlador CT al bobinado W.

**[0108]** La Figura 10(a) es una vista en sección transversal que muestra esquemáticamente, a escala ampliada, 50 el rotor 30 y el estator 40 en un ejemplo. La Figura 10(b) es una vista en sección transversal que muestra, a escala ampliada, las partes de imán permanente 37 y la proximidad de las mismas. La Figura 11 es un diagrama que muestra esquemáticamente, a escala ampliada, cómo los dientes 43 mostrados en la Figura 10(a) están dispuestos cuando se ven en la dirección radial desde el rotor 30. En otras palabras, la Figura 11 muestra esquemáticamente las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 como se ven en la dirección que se extiende desde las porciones de extremo 55 distal 43c de los dientes 43 hacia las porciones proximales (situadas opuestas a las porciones de extremo distal 43c) de los dientes 43. En un caso del motor de accionamiento síncrono SG del tipo de abertura radial como se ilustra en esta realización, la dirección que se extiende desde las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 hacia las porciones proximales de los dientes 43 corresponde, por ejemplo, a la dirección radial del motor de accionamiento síncrono SG. En un caso del motor de accionamiento síncrono SG del tipo de abertura axial, la dirección que se 60 extiende desde las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 hacia las porciones proximales de los dientes 43 corresponde, por ejemplo, a la dirección axial del motor de accionamiento síncrono SG.

**[0109]** El rotor 30 incluye la parte de yugo posterior 34, las partes de yugo auxiliar 35 y la pluralidad de partes de imán permanente 37. La pluralidad de partes de imán permanente 37 se proporciona a la superficie circunferencial 65 interior de la parte de yugo posterior 34 y se disponen longitudinalmente en la dirección circunferencial.

**[0110]** En esta realización, la parte de imán permanente 37 es un imán de ferrita. En esta realización, el coeficiente de permeabilidad  $P_c$  de la parte de imán permanente 37 proporcionado en el rotor 30 es 10 o más. La parte de imán permanente 37 que es un imán de ferrita tiene un espesor radial relativamente grande. La parte de imán permanente 37 que tiene un gran espesor radial permite que una gran cantidad de flujos magnéticos desde la parte de imán permanente 37 alcancen, a través de un hueco G, la porción de extremo distal 43c del diente 43 que es una superficie del diente 43 opuesta a la parte de imán permanente 37. Esto permite que los flujos magnéticos pasen de manera eficiente a través del núcleo de estator ST. En esta realización, el espesor radial de la parte de imán permanente 37 es mayor que el espesor radial de la parte de yugo posterior 34. El espesor radial de la parte de yugo posterior 34 es mayor que el espesor radial de la parte de cubo 12h. El espesor radial H de la parte de imán permanente 37 no está particularmente limitado. Para ser específicos, el espesor H de la parte de imán permanente 37 es, por ejemplo, preferentemente 4 mm o más, más preferentemente 5 mm o más, más preferentemente 6 mm o más, y particularmente preferentemente 7 mm o más. El espesor H de la parte de imán permanente 37 es preferentemente de 15 mm o menos, más preferentemente de 12 mm o menos, más preferentemente de 10 mm o menos, y particularmente preferentemente de 9 mm o menos.

**[0111]** Un extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35, es decir, el extremo distal de la parte de yugo auxiliar 35 que sobresale hacia el eje de rotación C, está ubicado en la parte más interna del polo exterior 37o de la parte de imán permanente 37. En esta realización, el extremo más interno 35a es una cara interna de la parte de yugo auxiliar 35 con respecto a la dirección radial. El extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está al menos parcialmente ubicado más interno que una posición central 37c que es una posición central entre una cara de imán 37b y una cara de imán 37a. El extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está completamente ubicado fuera de la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial. La cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 está expuesta hacia el interior con respecto a la dirección radial, y opuesta al diente 43. El ancho circunferencial del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 es, por ejemplo, más pequeño que una anchura  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG. El ancho circunferencial del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 es, por ejemplo, más pequeño que un hueco entre dientes d que se describirá más adelante. El ancho circunferencial del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 es, por ejemplo, más pequeño que el ancho de la porción de extremo distal 43c del diente 43 con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG. La cara de imán 37b corresponde a un ejemplo de la cara de imán de la presente invención.

**[0112]** Por ejemplo, la dimensión radial de la parte de yugo auxiliar 35 es preferentemente de 4 mm o más, más preferentemente de 5 mm o más, más preferentemente de 6 mm o más, y particularmente preferentemente de 7 mm o más. La dimensión radial de la parte de yugo auxiliar 35 es preferentemente de 15 mm o menos, más preferentemente de 12 mm o menos, más preferentemente de 10 mm o menos, y particularmente preferentemente de 9 mm o menos.

**[0113]** En esta realización, una relación de saliente-polo  $L_q/L_d$  de la parte de imán permanente 37, la parte de yugo auxiliar 35 y la parte de yugo posterior 34 es 2 o más. La relación saliente-polo  $L_q/L_d$  significa, cuando se enfoca en un diente 43, la relación entre una inductancia  $L_q$  producida cuando el diente 43 se opone exactamente a la parte de yugo auxiliar 35 y una inductancia  $L_d$  producida cuando el diente 43 se opone exactamente a la parte de imán permanente 37. En el estado en el que el diente 43 se opone exactamente a la parte de imán permanente 37, es probable que los flujos magnéticos producidos por la corriente del bobinado W sean interrumpidos por la parte de imán permanente 37 que tiene una baja permeabilidad magnética.

**[0114]** En esta realización, la parte de imán permanente 37 proporcionada en un motor de rueda de tipo de accionamiento directo tiene un gran espesor radial. Es decir, la parte de yugo posterior 34 está a una gran distancia del diente 43. Esto hace probable que se interrumpa el efecto de los flujos magnéticos producidos por la corriente del bobinado W. En otras palabras, en el caso de que el diente 43 se oponga exactamente a la parte de imán permanente 37, hay una gran distancia a la parte de yugo posterior 34, y la parte de imán permanente 37 está dispuesta entre el diente 43 y la parte de yugo posterior 34, lo que se traduce en una alta reluctancia. Por lo tanto, la inductancia  $L_d$  es baja. En un caso en el que el diente 43 se opone exactamente a la parte de yugo auxiliar 35, la reluctancia es baja. Por lo tanto, la inductancia  $L_q$  es alta. La alta relación saliente-polo de 2 o más garantiza un mayor par de reluctancia.

**[0115]** Cada diente 43 incluye una porción principal 43a y una porción de extremo distal 43c. La porción de extremo distal 43c se opone al rotor 30. La ranura SL está formada entre los dientes 43. El bobinado W está enrollado en la porción principal 43a de cada diente 43. La porción principal 43a que se muestra en la Figura 10(a) corresponde a la parte enrollada con el bobinado de la presente invención. La porción de extremo distal 43c del diente 43 se opone a la cara de imán 37b proporcionada fuera del núcleo de estator ST. Por lo tanto, el intervalo entre las porciones extremas distales de los dientes 43 adyacentes entre sí es relativamente más amplio que el intervalo entre las porciones proximales de los dientes adyacentes 43.

**[0116]** El intervalo g mostrado en la Figura 10(a) es el intervalo entre el rotor 30 y el estator 40 con respecto a la dirección radial del motor de accionamiento síncrono SG. El intervalo g es equivalente al intervalo entre la cara de

imán 37b de la parte de imán permanente 37 y la porción de extremo distal 43c del diente 43 con respecto a la dirección radial del motor de accionamiento síncrono SG.

La superficie circunferencial interior de la parte de imán permanente 37 tiene una forma de arco con la convexidad dirigida radialmente hacia fuera del motor de accionamiento síncrono SG cuando se ve a lo largo del eje de rotación del motor de transmisión síncrono SG. La superficie circunferencial exterior del núcleo de estator ST tiene una forma de arco con la convexidad dirigida radialmente hacia fuera del motor de accionamiento síncrono SG cuando se ve a lo largo del eje de rotación del motor de transmisión síncrono SG. La cara de imán 37b (superficie circunferencial interior) de la parte de imán permanente 37 se opone a la superficie circunferencial exterior del núcleo de estator ST con el intervalo g entre las mismas. La superficie circunferencial interior de la parte de imán permanente 37 está expuesta al intervalo g, pero en cambio puede estar cubierta con un material no magnético. La superficie circunferencial interior de la parte de imán permanente 37 no está cubierta con un material magnético. Es decir, la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y la porción de extremo distal 43c del diente 43 están opuestas entre sí sin ningún material magnético interpuesto entre las mismas. El valor del intervalo g no está particularmente limitado, y puede ser de aproximadamente 1 mm, por ejemplo. El hueco entre dientes d indica el intervalo entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 que están adyacentes entre sí con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG. El hueco entre dientes d corresponde al hueco entre las porciones de extremo distal con respecto a la dirección circunferencial de la presente invención. El signo de referencia D2 representa la distancia entre el bobinado W y la parte de yugo posterior 34 con respecto a la dirección radial del motor de accionamiento síncrono SG. El signo de referencia  $L_{37}$  representa el ancho de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG. El signo de referencia  $L_{43}$  representa la anchura de la porción de extremo distal 43c del diente 43 con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG.

**[0117]** Con referencia a la Figura 11, el ancho  $L_w$  a través de un borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial (el ancho máximo del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial) es mayor que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c. Aquí, el borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial significa una parte de borde exterior del bobinado W situado más hacia afuera con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG. El borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial, por ejemplo, se extiende en la dirección axial del motor de accionamiento síncrono SG como se muestra en la Figura 11. El borde exterior  $W_s$  del bobinado W enrollado en el diente 43 con respecto a la dirección circunferencial está ubicado más externo que el borde exterior de la porción de extremo distal 43c del diente 43. Como se muestra en la Figura 11, la periferia más externa del bobinado W está ubicada más externa que la periferia exterior de la porción de extremo distal 43c, cuando la porción de extremo distal 43c se ve en la dirección perpendicular al eje de rotación del motor de accionamiento síncrono SG, y en otras palabras, cuando la porción de extremo distal 43c se ve en la dirección desde el infinito hacia el centro del motor de accionamiento síncrono SG. Como se muestra en la Figura 11, el espesor  $L_x$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 con respecto a la dirección axial X es mayor que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c. El espesor axial  $L_x$  de la porción principal 43a del diente 43 es mayor que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción principal 43a. En esta realización, el ancho  $L_w$  a través del borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial es mayor que el ancho  $L_{37}$  de la cara de imán. Por lo tanto, en esta realización, el ancho  $L_{37}$  de la cara de imán es mayor que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c y menor que el ancho  $L_w$  a través del borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial.

**[0118]** En el estator 40, el hueco entre dientes d entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes adyacentes 43 es más grande que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c. Además, cuando la porción de extremo distal 43c se ve a lo largo del eje de rotación del motor de accionamiento síncrono SG, el borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial se sitúa más externo que el borde exterior de la porción de extremo distal 43c del diente 43 con respecto a la dirección circunferencial.

**[0119]** El rotor 30 gira sobre el eje de rotación del motor de accionamiento síncrono SG en una ubicación fuera del estator 40 con respecto a la dirección radial del motor de accionamiento síncrono SG, en un estado en el que las caras de imán 37b, cuyo número es mayor que el número de dientes 43, están opuestas a la superficie circunferencial exterior del núcleo de estator ST. La rotación del rotor 30 hace que las caras de imán 37b, cuyo número es mayor que el número de dientes 43, se extiendan sobre la superficie circunferencial exterior del núcleo de estator ST.

**[0120]** La superficie circunferencial exterior de la parte de imán permanente 37 tiene una forma de arco con la convexidad dirigida radialmente hacia fuera del motor de accionamiento síncrono SG cuando se ve a lo largo del eje de rotación del motor de transmisión síncrono SG. La superficie circunferencial interior de la parte de yugo posterior 34 tiene una forma de arco con la convexidad dirigida radialmente hacia fuera del motor de accionamiento síncrono SG cuando se ve a lo largo del eje de rotación del motor de transmisión síncrono SG. La superficie circunferencial exterior de la parte de imán permanente 37 está en contacto con la superficie circunferencial interior de la parte de yugo posterior 34. Más específicamente, la superficie circunferencial exterior de la parte de imán permanente 37 está, al menos en una porción central de la misma con respecto a la dirección circunferencial, en contacto con la superficie circunferencial interior de la parte de yugo posterior 34.

**[0121]** En el motor de accionamiento síncrono SG mostrado en la Figura 10(a), el intervalo entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 que están adyacentes entre sí con respecto a la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG es el hueco entre dientes d. El ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeña que la suma  $L_p$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y el ancho circunferencial de una superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35. Es decir, el hueco entre dientes d se establece de tal manera que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que la suma  $L_p$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35. En esta realización, como se muestra en la Figura 10(b), la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35 es una superficie definida en la misma posición que la posición de la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial. El ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35 significa el ancho de la parte de yugo auxiliar 35 en la misma posición que la posición de la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial. La suma  $L_p$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35 corresponde al ancho circunferencial de una cara de polo magnético del motor de accionamiento síncrono SG. Por lo tanto, la suma  $L_p$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35 se representa como el valor obtenido por la longitud circunferencial de una superficie del rotor 30 opuesta al estator 40 que se divide por el número de caras de imán.

**[0122]** La Figura 11 muestra una región 37p que corresponde a la suma  $L_p$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35. La región 37p corresponde a una cara del polo magnético proporcionada por la parte de imán permanente 37. Mientras el rotor 30 está girando con respecto a los dientes 43, el área de una región de la porción de extremo distal 43c del diente 43 opuesta a cada región 37p no excede el área de la porción de extremo distal 43c de un diente 43. Por ejemplo, en el estado ilustrado en la Figura 11, una región 37p cuya posición está indicada por la línea discontinua está opuesta a dos dientes 43 a la vez. En los dos dientes 43, las regiones opuestas a la región 37p tienen un área total que no excede el área de la porción de extremo distal 43c de un diente 43. Esto se aplica a todas las regiones 37p correspondientes a todas las partes de imán permanente 37.

**[0123]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que la suma  $L_h$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y la mitad del ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35. En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que el ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37.

**[0124]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el número de caras de imán 37b es mayor que el número de dientes 43; el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que la suma  $L_p$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35; y las partes de yugo auxiliar 35 se proporcionan en los intervalos entre las partes de imán permanente 37. Esto permite que el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización satisfaga un par alto, un alto rendimiento, y una reducción de tamaño a un nivel alto. El motor de accionamiento síncrono SG está configurado de tal manera que el número de caras de imán 37b sea mayor que el número de dientes 43, de manera que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que el ancho circunferencial de la cara de imán 37b y, de tal manera que las partes de yugo auxiliar 35 que se proporcionan en los intervalos entre las partes de imán permanente 37 logran una reducción de tamaño, en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional configurado para proporcionar el mismo rendimiento y el mismo par que los de este motor de accionamiento síncrono SG. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un alto nivel.

**[0125]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que la suma  $L_h$  del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y la mitad del ancho circunferencial de la superficie de extremo distal 35p de la parte de yugo auxiliar 35. Esto suprime adicionalmente el grado de oposición entre el diente 43 y la parte de yugo auxiliar 35 en un momento en que una corriente fluye a través del bobinado W. Por lo tanto, cuando una corriente fluye a través del bobinado W, se obtiene un alto par de reluctancia debido a la fuerza de atracción que atrae la parte de yugo auxiliar 35 al diente 43.

**[0126]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que el ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37. Esto suprime adicionalmente el grado de oposición entre el diente 43 y la parte de yugo auxiliar 35 en un momento en que una corriente fluye a través del bobinado W. En un caso en el que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es menor que el ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37, un estado en el que parte de la porción de extremo distal 43c

se opone a la parte de yugo auxiliar 35 y un estado en el que cualquier parte de la porción de extremo distal 43c no es opuesta a la parte de yugo auxiliar 35 se crean mientras el rotor 40 está girando. Se obtiene un par de reluctancia a partir de una fuerza de atracción ejercida cuando el estado se desplaza del estado en el que cualquier parte de la porción de extremo distal 43c no se opone a la parte de yugo auxiliar 35 al estado en el que una parte de la porción de extremo distal 43c se opone a la parte de yugo auxiliar 35.

**[0127]** Aquí, los flujos magnéticos del estator dirigidos desde el diente 43 hacia la cara de imán 37b se describirán con más detalle con referencia a la Figura 10(a). A medida que aumenta el hueco entre dientes d, disminuyen los flujos magnéticos de fuga del diente 43. Sin embargo, una vez que el hueco entre dientes d supera la distancia D2, se reduce la disminución de los flujos magnéticos de fuga del diente 43 en relación con un aumento del hueco entre dientes d. Por consiguiente, también se reduce un aumento de los flujos magnéticos de estator en relación con un aumento del hueco entre dientes d.

**[0128]** Teniendo en cuenta lo anterior, es preferible que el hueco entre dientes d sea igual o menor que la distancia D2. En tal caso, es preferible que el número de caras de imán 37b incluidas en el rotor 30 sea igual o mayor que 4/3 del número de dientes 43. Es particularmente preferible que el número de caras de imán 37b incluidas en el rotor 30 sea 4/3 del número de dientes 43. Es preferible que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c de los dientes 43 sea mayor de 1/3 del ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b.

**[0129]** Es preferible que el hueco entre dientes d sea igual o menor que el ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37. Es preferible que el hueco entre dientes d menor que el ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37. Es preferible que el hueco entre dientes d sea igual o inferior a diez veces el intervalo g. Es preferible que el hueco entre dientes d sea igual o más de tres veces el intervalo g. Es más preferible que el hueco entre dientes d sea igual o más de cuatro veces el intervalo g. Es preferible adicionalmente que el hueco entre dientes d sea igual o más de cinco veces el intervalo g. Es particularmente preferible que el hueco entre dientes d sea igual o más de siete veces el intervalo g. Para ser específicos, el hueco entre dientes d es preferentemente igual o inferior a 10 mm. El hueco entre dientes d es preferentemente igual a o más de 3 mm, más preferentemente igual a o más de 4 mm, además, preferentemente igual a o más de 5 mm, y particularmente, preferentemente igual a o más de 7 mm.

**[0130]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, el ancho  $L_w$  a través del borde exterior  $W_s$  del bobinado W con respecto a la dirección circunferencial es mayor que el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c. Dado que la cantidad de bobinado W enrollado en el diente 43 es grande, se puede obtener un par más alto y un rendimiento más alto. Preferentemente, como se muestra en la Figura 11, la periferia más externa del bobinado W está situada más allá de la periferia exterior de la porción de extremo distal 43c, cuando la porción de extremo distal 43c del diente 43 se ve en la dirección perpendicular al eje de rotación C del motor de accionamiento síncrono SG y, en otras palabras, cuando la porción de extremo distal 43c del diente 43 se ve desde la cara de imán 37b en la dirección opuesta de la parte de imán permanente 37 al diente 43.

**[0131]** En el ejemplo mostrado en la Figura 10(a), cuando la porción de extremo distal 43c se ve a lo largo del eje de rotación C del motor de accionamiento síncrono SG, el borde exterior  $W_s$  del bobinado W enrollado en el diente 43 con respecto a la dirección circunferencial se ubica más externo que el borde exterior de la porción de extremo distal 43c del diente 43 con respecto a la dirección circunferencial. En tal caso, la cantidad del bobinado W es aún mayor. Por lo tanto, se puede obtener un par más alto y un rendimiento mayor.

**[0132]** En el motor de accionamiento síncrono SG, el intervalo entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes adyacentes 43 es relativamente más amplio que el intervalo entre las porciones proximales (ubicadas en oposición a las porciones de extremo distal 43c) de los dientes adyacentes 43. Esta configuración aumenta adicionalmente el grado de libertad en la disposición del bobinado W. Por consiguiente, se puede obtener un alto par y un alto rendimiento al aumentar la cantidad del bobinado W.

**[0133]** En el ejemplo mostrado en la Figura 10(a), mientras que el rotor 30 está girando con respecto a los dientes 43, el área de una región de la porción de extremo distal 43c del diente 43 opuesta a cualquier cara de imán 37b no excede el área de la porción de extremo distal 43c de un diente 43. Esta configuración suprime la aparición de una situación en la que los flujos magnéticos producidos por la cara de imán 37b se distribuyen en una región más amplia que el área de la porción de extremo distal 43c de un diente 43. Como resultado, puede suprimirse una disminución del par. Es preferible que las porciones de extremo distal 43c de todos los dientes 43 tengan sustancialmente la misma anchura circunferencial. Es preferible que las porciones de extremo 43c de todos los dientes 43 estén dispuestas a intervalos regulares o a intervalos sustancialmente regulares con respecto a la dirección circunferencial. En otras palabras, es preferible que todos los huecos entre dientes d tengan el mismo valor. Es preferible que todas las caras de imán 37b tengan sustancialmente el mismo ancho circunferencial.

**[0134]** En esta realización, el ancho circunferencial  $L_{a43}$  de la porción principal 43a es igual al ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c. Por lo tanto, como se muestra en la Figura 11, el ancho circunferencial  $L_{a43}$  de la porción principal 43a es más pequeña que el espesor axial  $L_x$  de la porción principal 43a del



diente 43. Por lo tanto, el ancho circunferencial de la ranura SL puede asegurarse ampliamente. Esto hace posible aumentar aún más el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un diámetro mayor para formar el bobinado. Como resultado, se puede obtener un par más alto y un rendimiento mayor. En el motor de accionamiento síncrono SG, el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es más pequeño que el espesor axial  $L_x$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43. Por lo tanto, se puede asegurar ampliamente el hueco entre dientes d. Tal amplio hueco entre dientes d permite una mejora adicional del grado de libertad en el diseño del bobinado W. Esto permite, por ejemplo, aumentar aún más el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un mayor diámetro para formar el bobinado. Como resultado, se puede obtener un par más alto y un rendimiento mayor.

10

**[0135]** En el motor de accionamiento síncrono SG, el número de caras de imanes 37b incluidas en el rotor 30 es mayor que el número de dientes 43, y la velocidad angular  $\omega$  es alta porque el número de polos magnéticos es grande. La alta velocidad angular  $\omega$  da como resultado un par de retención bajo.

15 **[0136]** En el motor de accionamiento síncrono SG, la parte de imán permanente 37 está formada por un imán de ferrita. Las características magnéticas del imán de ferrita son inferiores a las características magnéticas de un imán de tierras raras. Por lo tanto, el imán de ferrita tiene un espesor mayor que el espesor del imán de tierras raras, por ejemplo. Además, en el motor de accionamiento síncrono SG, el número de caras de imán 37b es mayor que el número de dientes 43, de manera que el ancho circunferencial  $L_{37}$  de la cara de imán 37b es pequeño. Una combinación del gran espesor y el pequeño ancho circunferencial da un alto coeficiente de permeabilidad con respecto a la parte de imán permanente 37. Por consiguiente, se puede obtener un mayor par y un mayor rendimiento.

20

**[0137]** La Figura 12 es un diagrama para explicar las operaciones de los dientes, los bobinados, las partes de imán permanente y las partes de yugo auxiliar mostradas en la Figura 10(a). En la Figura 12, el carácter P, Q o R se añade a los signos de referencia para la discriminación entre una pluralidad de elementos.

25

**[0138]** Cuando la parte de yugo auxiliar 35P ubicada aguas arriba del diente 43P con respecto a la dirección de rotación T del rotor 30 se acerca al diente 43P, una corriente que fluye a través del bobinado WP enrollado en el diente 43P hace que se produzca una fuerza magnética (fuerza de atracción) F entre el diente 43P y la parte de yugo auxiliar 35P. La fuerza de atracción F sirve como un par de reluctancia. En este momento, la porción de extremo distal 43Qc de otro diente 43Q se opone a una parte de yugo auxiliar 35Q y dos caras de imán 37Qb, 37Rb que están adyacentes a la parte de yugo auxiliar 35Q. Es decir, en el motor de accionamiento síncrono SG mostrado en la Figura 12, una corriente fluye a través del bobinado WQ del diente 43Q. Bajo el estado en el que el diente 43Q está opuesto a la parte de yugo auxiliar 35Q y las dos caras de imán 37Qb, 37Rb adyacentes a la parte de yugo auxiliar 35Q, se suministra una corriente al bobinado WQ del diente 43Q, para cambiar el estado de la corriente en el bobinado WP del diente 43P diferente del diente 43Q.

30

35

**[0139]** En el ejemplo mostrado en la Figura 12, la cara de imán 37Qb proporciona el polo S, y la otra cara de imán 37Rb proporciona el polo N que es opuesto al polo S proporcionado por la cara de imán 37Qb. Los flujos magnéticos del imán 37Q y los flujos magnéticos del imán 37R se introducen en el diente 43Q y se interconectan con el bobinado WQ. En otras palabras, los flujos magnéticos causados por la corriente del bobinado WQ interactúan con los flujos magnéticos de la cara de imán 37Qb y los flujos magnéticos de la cara de imán 37Rb. Tras fluir una corriente a través del bobinado WQ enrollado en el diente 43Q, por ejemplo, se produce una fuerza de repulsión entre una cara de imán 37Qb y la porción de extremo distal 43Qc del diente 43Q mientras que se produce una fuerza de atracción entre la otra cara de imán 37Rb y la porción de extremo distal 43Qc del diente 43Q. La fuerza de repulsión y la fuerza de atracción generan un par magnético. Dado que la porción de extremo distal 43Qc del diente 43Q se opone a la parte de yugo auxiliar 35Q, la reluctancia del bobinado WQ es baja. La cantidad de flujos magnéticos causados por la corriente del bobinado WQ es mayor en comparación con un caso en el que, por ejemplo, el diente 43Q no está opuesto a la parte de yugo auxiliar 35Q. Es decir, una mayor cantidad de flujos magnéticos interactúan con los flujos magnéticos de la parte de imán permanente 37Q y los flujos magnéticos de la parte de imán permanente 37R. Por consiguiente, el par magnético generado por la fuerza de repulsión producida entre la cara de imán 37Qb y la porción de extremo distal 43Qc del diente 43Q y la fuerza de atracción producida entre la cara de imán 37Rb y la porción de extremo distal 43Qc del diente 43Q también se aumenta. Por lo tanto, en esta realización, el motor de accionamiento síncrono SG está configurado de tal manera que se suministra una corriente al bobinado WQ del diente 43Q en un momento en que la porción de extremo distal 43Qc, cuyo ancho circunferencial es menor que el ancho circunferencial de la cara de imán 37Qb, 37Rb, se opone a la parte de yugo auxiliar 35Q y las dos caras de imán 37Qb, 37Rb adyacentes a la parte de yugo auxiliar 35Q. El motor de accionamiento síncrono SG de esta realización puede aumentar el par del imán debido a los flujos magnéticos del diente 43Q causados por el suministro de la corriente al bobinado WQ, como se describe anteriormente.

45

50

55

60

**[0140]** En el motor de accionamiento síncrono SG, la fase de la corriente suministrada al bobinado W enrollada en el diente 43(43P, 43Q) avanza con respecto a la fase de la tensión inducida producida en el bobinado W por la parte de imán permanente giratoria 37 (37P, 37Q, 37R). En esta configuración, la fuerza de atracción F producida entre la parte de yugo auxiliar 35P del rotor 30 y la porción de extremo distal 43Pc del diente 43P puede usarse de manera más eficaz como un par de reluctancia. El par de reluctancia permite que el motor de accionamiento síncrono

65

SG garantice un par alto.

**[0141]** En esta realización, el controlador CT suministra, al bobinado W (WP, WQ), una corriente cuya fase avanza en relación con la fase de la tensión inducida producida en el bobinado W (WP, WQ) por la parte de imán permanente 37 (37P, 37Q, 37R). El controlador CT suministra una corriente de excitación que incluye un componente de corriente del eje d, de manera que la fase de la corriente suministrada al bobinado W (WP, WQ) avanza en relación con la fase de la tensión inducida producida en el bobinado W (WP, WQ). Una tensión causada por la componente de corriente del eje d reduce la influencia de la tensión inducida causada en un momento de rotación. Como resultado, se mejora un par en un momento de rotación de alta velocidad.

**[0142]** La Figura 13(a) es un diagrama vectorial que muestra características eléctricas en el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización. La Figura 13(b) es un diagrama vectorial que muestra características eléctricas en un motor de accionamiento síncrono convencional. La Figura 13(c) es un diagrama vectorial que muestra características eléctricas en un motor de accionamiento síncrono según un ejemplo comparativo.

**[0143]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a), el número de caras de imán es  $4/3$  del número de dientes. En el motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b), el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes. La velocidad angular  $\omega$  del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 13(a) es el doble de la velocidad angular  $\omega$  del motor de accionamiento síncrono convencional que se muestra en la Figura 13(b).

**[0144]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a), en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b), el número de caras de imán es mayor, de manera que el ancho circunferencial de la cara de imán es más pequeño. En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a), el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es más pequeño que el ancho circunferencial de la cara de imán. En contraste, en el motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b), en comparación con el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a), se establece un valor mayor como el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente. La inductancia L del motor de accionamiento síncrono de esta realización es  $1/2$  de la inductancia L del motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b).

**[0145]** En el motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 13(c), el número de caras de imán es  $2/3$  del número de dientes. La velocidad angular  $\omega$  del motor de accionamiento síncrono SG de esta realización es el doble de la velocidad angular  $\omega$  del motor de accionamiento síncrono según el ejemplo comparativo mostrado en la Figura 13(c).

**[0146]** En el motor de accionamiento síncrono según el ejemplo comparativo mostrado en la Figura 13(c), en comparación con el motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b), se establece un valor inferior como el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente. Por consiguiente, la inductancia L del motor de accionamiento síncrono mostrado en la Figura 13(c) es menor que la inductancia L del motor de accionamiento síncrono convencional que se muestra en la Figura 13(b).

**[0147]** En cada uno de los motores de accionamiento síncrono mostrados en la Figura 13(a) a la Figura 13(c), se suministra al bobinado una corriente de accionamiento que incluye un componente de corriente del eje d. En la Figura 13(a) a la Figura 13(c), el signo de referencia  $V_t$  representa una tensión terminal del motor de accionamiento síncrono. El signo de referencia E representa una tensión inducida. El signo de referencia  $I_d$  representa una corriente del eje d (eje directo). El signo de referencia  $I_q$  representa una corriente de eje q (eje de cuadratura).

**[0148]** En general, la tensión terminal  $V_t$  del motor de accionamiento síncrono tiene un límite superior porque se suministra desde una fuente de alimentación tal como una batería. Un aumento en la velocidad de rotación del rotor conduce a un aumento en la tensión inducida E del bobinado W, que, en consecuencia, reduce el margen de tensión para el suministro de la corriente del eje q que contribuye al par. En los motores de accionamiento síncrono mostrados en la Figura 13(a) a la Figura 13(c), la corriente de accionamiento que incluye la componente de corriente del eje d se suministra al bobinado. Como resultado, se produce una tensión  $I_d \omega L$  dirigida a cancelar la tensión inducida E como se muestra en la Figura 13(a). Por lo tanto, aunque la tensión inducida E aumente, la corriente del eje q que contribuye al par puede suministrarse al bobinado. En los ejemplos mostrados en la Figura 13(a) a la Figura 13(c), la tensión inducida E es mayor que la tensión terminal  $V_t$  del motor de accionamiento síncrono, pero la corriente del eje q se suministra al bobinado.

**[0149]** La velocidad angular  $\omega$  y la inductancia L del motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a) son el doble de la velocidad angular  $\omega$  y  $1/2$  de la inductancia L del motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b). Como consecuencia, una componente de tensión ( $I_d \omega L$ ) que suprime una tensión inducida es la misma en el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a) y en el motor de accionamiento síncrono convencional mostrado en la Figura 13(b). En otras palabras,

en el motor de accionamiento síncrono de esta realización, el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente es pequeño, por lo que la inductancia  $L$  es baja, pero la velocidad angular  $\omega$  es alta, por lo que se asegura la componente de tensión ( $I_d \cdot \omega L$ ) dirigida a cancelar la tensión inducida.

5 **[0150]** La velocidad angular  $\omega$  del motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a) es el doble de la velocidad angular  $\omega$  del motor de accionamiento síncrono según el ejemplo comparativo mostrado en la Figura 13(c). La inductancia  $L$  del motor de accionamiento síncrono SG de esta realización mostrada en la Figura 13(a) está casi al mismo nivel que la inductancia  $L$  del motor de accionamiento síncrono según el ejemplo comparativo que se muestra en la Figura 13(c). Por esta razón, en el motor de accionamiento síncrono según el  
10 ejemplo comparativo mostrado en la Figura 13(c), se reduce la componente de tensión ( $I_d \cdot \omega L$ ) que suprime la tensión inducida. Como resultado, la corriente del eje  $q$  también se reduce.

**[0151]** En el motor de accionamiento síncrono SG de esta realización, por otro lado, el número de caras de imán incluidas en el rotor 30 es mayor que el número de dientes, por lo que la velocidad angular  $\omega$  es alta. Incluso  
15 cuando la corriente del eje  $d$  es baja, la alta velocidad angular  $\omega$  garantiza la componente de tensión ( $I_d \cdot \omega L$ ) que suprime la tensión inducida. Por lo tanto, aunque la tensión inducida  $E$  aumente, la corriente del eje  $q$  que contribuye al par puede suministrarse al bobinado. Por consiguiente, el motor de accionamiento síncrono SG mejora un par en un momento de rotación a alta velocidad. Como procedimiento para suministrar una corriente de accionamiento que incluye una componente de corriente del eje  $d$ , por ejemplo, se puede adoptar el suministro de una cantidad específica  
20 de componente de corriente del eje  $d$  basándose en un control vectorial (control orientado al campo), o la realización de un control de ángulo de avance que suministre sustancialmente una componente de corriente del eje  $d$  al avanzar la fase de una corriente de accionamiento. Un procedimiento para el control de ángulo de avance no está particularmente limitado, y puede adoptarse un procedimiento convencionalmente conocido.

25 **[0152]** El motor de accionamiento síncrono SG puede funcionar como un generador cuando la rueda 12 recibe una fuerza desde el exterior de la rueda 12 y gira.

**[0153]** En el motor de accionamiento síncrono SG, cuando el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c disminuye de manera que aumenta el hueco entre dientes  $d$ , la inductancia  $L$  disminuye (ver Figura 3(b)).  
30 Sin embargo, en el motor de accionamiento síncrono SG, el número de polos magnéticos incluidos en el rotor 30 es mayor que el número de dientes incluidos en el estator 40, por lo que la velocidad angular  $\omega$  es alta, lo que garantiza un valor de la componente de  $CA \omega L$  de la impedancia. No es necesario disminuir el número de vueltas del bobinado  $W$  para suprimir una corriente de generación de energía. Por lo tanto, incluso cuando el hueco entre dientes  $d$  aumenta, de modo que el valor de la inductancia  $L$  disminuye, se logra una mejora adicional del par en el momento del arranque  
35 sin la necesidad de aumentar en gran medida la corriente de generación de energía.

**[0154]** En el motor de accionamiento síncrono SG, como se describe anteriormente, el bobinado  $W$  está enrollado en el diente 43. El bobinado  $W$  está dispuesto para extenderse a través de la ranura SL. En otras palabras, una parte del bobinado  $W$  está en la ranura SL. En el motor de accionamiento síncrono SG, el ancho circunferencial  
40  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43 es pequeño, de manera que el hueco entre dientes  $d$  es grande y, por lo tanto, el grado de libertad del diseño del bobinado es alto. Una manera en la que se enrolla el bobinado  $W$  puede ser un bobinado concentrado y un bobinado distribuido. Aunque no se pone ninguna limitación particular en el modo de bobinado, es preferible el bobinado concentrado. Una configuración ejemplar del bobinado  $W$  es la siguiente.

45 **[0155]** La Figura 14(a) a la Figura 14(c) son diagramas que muestran esquemáticamente cada uno un ejemplo de conexión de los bobinados  $W$ .

**[0156]** La Figura 14(a) muestra la conexión en estrella (conexión en Y). Cuando una resistencia de CC de cada fase se define como  $r$ , una resistencia de fase a fase  $R$  se expresa como  $R = r+r = 2r$ . La Figura 14(b) muestra una  
50 conexión paralela en la que el bobinado de cada fase que se muestra en la Figura 14(a) incluye dos bobinados y los dos bobinados están conectados en paralelo. La resistencia de fase a fase  $R$  se expresa como  $R = r/2 + r/2 = r$ . La Figura 14(c) muestra una conexión paralela en la que el bobinado de cada fase mostrada en la Figura 14(a) incluye tres bobinados, y los tres bobinados están conectados en paralelo. La resistencia de fase a fase  $R$  se expresa como  $R = r/3 + r/3 = 2r/3$ .

55 **[0157]** En la presente invención, puede adoptarse cualquiera de las configuraciones mostradas en la Figura 14(a) a la Figura 14(c). En la presente invención, sin embargo, es preferible la conexión paralela, en la que el bobinado de cada fase incluye una pluralidad de bobinados que están conectados en paralelo. La razón para ello se describirá a continuación.

60 **[0158]** Los presentes inventores han descubierto que una reducción en la resistencia de CC  $R$  en la impedancia hace una contribución relativamente grande a la mejora del par en una región de rotación de baja velocidad. Por lo tanto, establecer la resistencia de CC  $R$  en un valor pequeño mientras se establece  $\omega L$  en un valor grande como se describe anteriormente, puede garantizar de manera más eficaz un alto par de rendimiento en la región de rotación de  
65 baja velocidad. La conexión paralela, en la que el bobinado de cada fase incluye una pluralidad de bobinados que

están conectados en paralelo como se muestra en la Figura 14(b) y la Figura 14(c), reduce la resistencia de CC R. Como resultado, se puede garantizar de manera más eficaz un alto par de rendimiento en la región de rotación de baja velocidad. El número de bobinados que están conectados en paralelo no se limita a dos y tres. Se pueden conectar cuatro o más bobinados en paralelo. Puede ser aceptable que tanto la conexión en paralelo como la conexión en serie existan en el bobinado de cada fase. Por ejemplo, puede ser aceptable que el bobinado de cada fase incluya una pluralidad de conjuntos de bobinado en cada uno de los cuales una pluralidad de bobinados esté conectada en paralelo, y la pluralidad de conjuntos de bobinado estén conectados en serie entre sí. La conexión de los bobinados W no se limita a los ejemplos mostrados en la Figura 14(a) a la Figura 14(c). Los ejemplos mostrados en la Figura 15(a) a la Figura 15(c) también son adoptables.

10

**[0159]** La Figura 15(a) a la Figura 15(c) son diagramas que muestran esquemáticamente un ejemplo de conexión de bobinados.

**[0160]** La Figura 15(a) muestra la conexión delta (conexión  $\Delta$ ). La Figura 15(b) muestra una conexión paralela en la que el bobinado de cada fase que se muestra en la Figura 15(a) incluye dos bobinados y los dos bobinados están conectados en paralelo. La Figura 15(c) muestra una conexión paralela en la que el bobinado de cada fase mostrada en la Figura 15(a) incluye tres bobinados, y los tres bobinados están conectados en paralelo. En el caso de la conexión delta, la resistencia de CC R se puede reducir debido a la conexión paralela en la que el bobinado de cada fase incluye una pluralidad de bobinados que están conectados en paralelo, como en el caso de la conexión en estrella. El número de bobinados que están conectados en paralelo no se limita a dos y tres. Se pueden conectar cuatro o más bobinados en paralelo.

**[0161]** En la presente invención, se puede adoptar adecuadamente cualquiera de la conexión en estrella y la conexión delta, pero la conexión en estrella es más preferible por las siguientes razones: es menos probable que tenga lugar una corriente circulante incluso cuando una diferencia en la tensión inducida entre las fases se debe a, por ejemplo, la relación posicional del estator 40 con respecto al rotor 30 y una diferencia en la intensidad del polo magnético de la parte de imán permanente. Por lo tanto, es menos probable que la conexión en estrella cause una pérdida en la generación de energía y permita una supresión más eficaz de la aparición de una caída de eficiencia. En la presente invención, el procedimiento para establecer la resistencia de CC R en la impedancia a un valor pequeño no se limita a la conexión en paralelo mencionada anteriormente. Por ejemplo, es concebible la adopción de un bobinado cuya sección transversal tenga un ancho mínimo grande. Dado que el bobinado W está dispuesto de manera que pase a través de la ranura SL, el ancho mínimo de la sección transversal del bobinado W puede aumentarse dentro de un intervalo que permita que el bobinado W pase a través de la ranura SL.

**[0162]** En un motor eléctrico normal, desde el punto de vista de la mejora de un rendimiento, es preferible que el número de vueltas de un bobinado dispuesto a través de una ranura (el número de veces que el bobinado esté enrollado) sea grande, de manera que el factor de espacio del bobinado dentro de la ranura sea alto. También en un generador de energía normal, desde el punto de vista de la eficiencia de generación de energía, es preferible que el número de vueltas de un bobinado dispuesto de modo que esté a través de una ranura sea grande, de manera que el factor de espacio del bobinado dentro de la ranura sea alto. Por lo tanto, en el motor eléctrico normal y el generador de energía, la relación del ancho mínimo (mm) de la sección transversal del bobinado con respecto al hueco entre dientes d (mm) entre las porciones de extremo distal de los dientes se ha establecido en un valor de bajo nivel.

**[0163]** En contraste, en el motor de accionamiento síncrono SG según esta realización, el rotor 30 tiene las caras de imán 37b que están formadas en las superficies circunferenciales internas de las partes de imán permanente 37 con respecto a la dirección radial del motor de accionamiento síncrono SG y que se disponen longitudinalmente en la dirección circunferencial del motor de accionamiento síncrono SG, y el número de caras de imán 37b es mayor que el número de dientes 43. El motor de accionamiento síncrono SG tiene muchas caras de imán 37b que están dispuestas radialmente hacia afuera del estator 40. El motor de accionamiento síncrono SG que tiene una configuración de este tipo puede garantizar un par de rendimiento más alto en el momento del arranque, en el que la velocidad de rotación es baja, aumentando el ancho mínimo (mm) de la sección transversal del bobinado con respecto al hueco entre dientes d (mm) entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43. El aumento del ancho mínimo de la sección transversal del bobinado con respecto al hueco entre dientes d (mm) entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 da como resultado una reducción en la resistencia de CC R, lo que puede causar un riesgo de que la corriente de generación de energía pueda aumentar cuando el motor de accionamiento síncrono SG funciona como un generador. Sin embargo, dado que la velocidad angular  $\omega$  aumenta, se garantiza la impedancia en un momento de rotación a alta velocidad y, por lo tanto, se puede suprimir un aumento en la corriente de generación de energía. Por consiguiente, se puede lograr tanto un aumento en el par de rendimiento como la supresión de la corriente de generación de energía.

60

**[0164]** En el motor de accionamiento síncrono SG según esta realización, la resistencia de CC R del bobinado W puede reducirse mediante la adopción de la conexión paralela o un cable que tenga un gran diámetro. Por lo tanto, una pérdida causada cuando una corriente fluye a través del bobinado puede reducirse. Por ejemplo, en un caso en el que el motor de accionamiento síncrono SG funciona como un generador, una corriente I fluye a través del bobinado W para causar una pérdida ( $I^2R$ ), pero la baja resistencia de CC del bobinado W puede suprimir la pérdida. Por

65

consiguiente, se obtiene una alta eficiencia cuando el motor de accionamiento síncrono SG funciona como un generador.

**[0165]** Para ser específicos, la relación del ancho mínimo (mm) de la sección transversal del bobinado W con respecto al hueco entre dientes d (mm) entre las porciones de extremo distal 43c de los dientes 43 es preferentemente de 0,1 o más, más preferentemente 0,16 o más, más preferentemente 0,3 o más, y particularmente preferentemente 1/3 o más. En caso de que la forma de la sección transversal del bobinado W sea un círculo verdadero, el diámetro del bobinado W es equivalente al ancho mínimo de la sección transversal del bobinado W. En un caso en el que la forma de sección transversal del bobinado W es una elipse, el diámetro más corto del bobinado W es equivalente al ancho mínimo de la sección transversal del bobinado W. En un caso en el que el bobinado W está formado por un cable rectangular plano, la longitud del lado más corto de la sección transversal rectangular del bobinado W es equivalente al ancho mínimo de la sección transversal del bobinado W. Puede ser aceptable reducir la resistencia de CC R en la impedancia mediante la adopción de un bobinado hecho de un material que tenga una baja resistencia de CC.

**[0166]** A continuación, se describirá una segunda realización de la presente invención.

**[0167]** En la siguiente descripción de la segunda realización, a los mismos elementos que a los de la primera realización descrita anteriormente se les darán los mismos signos de referencia correspondientes, o no se les dará ningún signo de referencia. Se describirán las diferencias de la realización descrita anteriormente.

**[0168]** La Figura 16 es un diagrama que muestra, a escala ampliada, parte de un motor de accionamiento síncrono ejemplar SG2 según la segunda realización.

**[0169]** El motor de accionamiento síncrono SG2 mostrado en la Figura 16 está configurado para conducir una rueda en una sola dirección. Más específicamente, el motor de accionamiento síncrono SG2 impulsa la rueda solo en la dirección de rotación normal T. El volumen de una parte de yugo auxiliar 235a es mayor que el volumen de una parte de yugo auxiliar 235b. La parte de yugo auxiliar 235a está posicionada en la mitad delantera del intervalo entre las partes de imán permanente 37 con respecto a la dirección de rotación normal T. La parte de yugo auxiliar 235b está posicionada en la mitad trasera del intervalo entre las partes de imán permanente 37 con respecto a la dirección de rotación normal T. La dirección de rotación normal T es una dirección en la que el rotor 30 gira con respecto al estator 40 del motor de accionamiento síncrono SG2. Una mitad de la porción delantera de la parte de yugo auxiliar 235 es una porción descendente con respecto a la dirección de rotación normal T. Una mitad de la porción trasera de la parte de yugo auxiliar 235 es una porción ascendente con respecto a la dirección de rotación normal T. Para ser específicos, la mitad de la porción de avance de la parte de yugo auxiliar 235 es una porción ubicada aguas abajo de un plano central 235m con respecto a la dirección de rotación normal T y la mitad de la porción trasera de la parte de yugo auxiliar 235 es una porción ubicada aguas arriba del plano central 235m con respecto a la dirección de rotación normal T. El plano central 235m es un plano que pasa por el centro del intervalo entre dos partes adyacentes de imán permanente 37 con respecto a la dirección circunferencial.

**[0170]** La parte de yugo auxiliar 235 tiene una forma tal que una porción del mismo opuesta al núcleo de estator ST en una ubicación aguas abajo del plano central 235m se corta oblicuamente. En otras palabras, el extremo más interno de la parte de yugo auxiliar 235 con respecto a la dirección radial tiene una cara que está inclinada radialmente hacia fuera de la rueda. La cara está dispuesta aguas abajo del plano central 235m con respecto a la dirección de rotación normal T. La forma de la parte de yugo auxiliar 235 no está limitada a la misma. Por ejemplo, se puede formar un escalón entre la parte de yugo auxiliar 235a posicionada en la mitad delantera y la parte de yugo auxiliar 235b posicionada en la mitad trasera. El extremo más interno de la parte de yugo auxiliar 235 puede tener una superficie curva. Sin embargo, es preferible que, en las superficies laterales de la parte de imán permanente 37 contiguas entre sí con respecto a la dirección circunferencial, la superficie de la parte de imán permanente 37 situada hacia adelante con respecto a la dirección de rotación normal T esté al menos parcialmente en contacto con la parte de yugo auxiliar 235. En otras palabras, es preferible que no se forme un hueco entre la superficie lateral de la parte de imán permanente 37 y la parte de yugo auxiliar 35.

**[0171]** Aquí, se enfocará un diente 43 de la pluralidad de dientes 43 proporcionados en el estator 240. Entre la pluralidad de partes de yugo auxiliar 235, la parte de yugo auxiliar 235 está situada en el lado aguas abajo D del diente 43 con respecto a la dirección de rotación normal T, y la parte de yugo auxiliar 235 está ubicada en el lado aguas arriba U del diente 43 con respecto a la dirección de rotación normal T, se comparan entre sí en un estado en el que se producen flujos magnéticos causados por el bobinado W en el diente 43. Como resultado, se revela que la parte de yugo auxiliar 235a tiene un volumen mayor, que se incluye en la parte de yugo auxiliar 235 ubicada en el lado aguas abajo D, está más cerca del diente 43 que la parte de yugo auxiliar 235a incluida en la parte de yugo auxiliar 235 ubicada en el lado aguas arriba U. Por lo tanto, una fuerza de atracción  $F_a$  por la cual la parte de yugo auxiliar 235 en el lado aguas arriba U es atraída por el diente 43 es más fuerte que una fuerza de atracción  $F_b$  por la cual la parte auxiliar 235 del lado aguas abajo D es atraída al diente 43. La fuerza de atracción  $F_b$  que atrae la parte de yugo auxiliar 235 en el lado aguas abajo D es una fuerza que interrumpe la rotación del rotor 30 en la dirección de rotación normal T. En esta realización, por lo tanto, la fuerza que interrumpe la rotación del rotor 30 en la dirección de rotación

normal T se reduce, y el par de reluctancia en la dirección de rotación normal T aumenta. Por consiguiente, un par se puede asegurar más suficientemente.

- [0172]** Aunque algunas realizaciones se han descrito anteriormente, estas realizaciones son solo realizaciones preferidas de la presente invención. Es obvio que los expertos en la técnica pueden realizar fácilmente diversas modificaciones y cambios en estas realizaciones. Es decir, el alcance técnico de la presente invención debería definirse basándose en las reivindicaciones adjuntas, y la presente invención no se limita a estas realizaciones y puede modificarse, por ejemplo, como se indica a continuación.
- 5
- 10 **[0173]** El controlador CT de la presente invención suministra una corriente al bobinado W sin cambiar la cantidad de avance de la fase de la corriente suministrada al bobinado W en relación con la fase de la parte de imán permanente 37 detectada por cada uno de los sensores 36A a 36C. Como alternativa, el dispositivo de control según la presente invención puede configurarse para cambiar la cantidad de avance de la fase de la corriente suministrada al bobinado con respecto a la fase de la tensión inducida producida en el bobinado W según, por ejemplo, la velocidad de rotación del motor de accionamiento síncrono. No se pone ninguna limitación particular en la corriente que el dispositivo de control suministra al bobinado en el control de ángulo de avance. Puede ser una onda sinusoidal o una onda cuadrada.
- 15
- [0174]** Aunque la primera realización descrita anteriormente ilustra un caso de ejemplo en el que el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está ubicado más externo que la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y más interno que la posición central 37c que es la posición central entre la cara de imán 37b y la cara de imán 37a de la parte de imán permanente 37, la presente invención no se limita a este caso de ejemplo. Los ejemplos mostrados en las Figuras 17(a) a (d) pueden adoptarse como parte de yugo auxiliar de la presente invención.
- 20
- 25 **[0175]** La Figura 17(a), (b) y (d) son vistas parciales en sección transversal que muestran, a escala ampliada, realizaciones de la parte de yugo auxiliar según la presente invención. En las Figuras 17(a) a (d), las mismas configuraciones que las configuraciones mostradas en los dibujos de la primera realización reciben los mismos signos de referencia que los signos de referencia dados en los dibujos de la primera realización.
- 30 **[0176]** En los ejemplos mostrados en las Figuras 17(a) a (d), el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está ubicado más interno que la cara de imán exterior 37a de la parte de imán permanente 37 (es decir, más interno que la cara de imán 37a del polo exterior 37o) con respecto a la dirección radial de la rueda 12. En los ejemplos mostrados en las Figuras 17(a) a (d), la parte de yugo auxiliar 35 sobresale radialmente hacia dentro en diferentes grados A continuación se dará una descripción específica.
- 35
- [0177]** En el ejemplo mostrado en la Figura 17(a), el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 se encuentra sustancialmente en la misma posición que la posición de la cara de imán interior 37b de la parte de imán permanente 37 (es decir, la cara de imán 37b del polo interno 37i) con respecto a la dirección radial de la rueda 12.
- 40 **[0178]** En el ejemplo mostrado en la Figura 17(b), el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está, al menos parcialmente, ubicado entre la posición central 37c y la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial de la rueda 12. La posición central 37c es una posición central entre la cara de imán 37b y la cara de imán 37a con respecto a la dirección radial de la rueda 12. La totalidad del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está ubicada más externa que la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial de la rueda 12. El ejemplo
- 45 **[0179]** mostrado en la Figura 17(b) ilustra un rotor SPM. La cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 está expuesta al interior radialmente, y se opone al diente 43. No se proporciona un cuerpo magnético entre la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y el diente 43.
- 50 **[0179]** En el ejemplo que no forma parte de la invención que se muestra en la Figura 17(c), la totalidad del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está situada más allá de la posición central 37c con respecto a la dirección radial de la rueda 12.
- 55 **[0180]** En el ejemplo mostrado en la Figura 17(d), el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está, al menos parcialmente (en la Figura 17(d), en su totalidad), ubicado más interno que la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial de la rueda 12. Sin embargo, el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 no está en contacto con el diente 43 durante la rotación de la rueda 12, y no impide la rotación de la rueda 12.
- 60 **[0181]** En la presente invención, es deseable que, en una superficie del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35, al menos una parte situada más hacia dentro con respecto a la dirección radial, esté ubicada más interna que la posición central 37c que es la posición central entre la cara de imán 37b y la cara de imán 37a con respecto a la dirección radial de la rueda 12, como se muestra en las Figuras 17(a), (b) y (d).
- 65 **[0182]** En la presente invención, la parte de imán permanente 37 se proporciona en un motor de rueda de rotor exterior de tipo de accionamiento directo, que garantiza que la parte de imán permanente 37 tenga un gran espesor radial. Dado que la parte de yugo auxiliar 35 sobresale hacia dentro más allá de la posición central 37c de la parte de

imán permanente 37 que tiene tal un espesor radial grande, se puede asegurar una alta relación saliente-polo. Como resultado, se puede obtener un par de reluctancia más alto y, por lo tanto, se puede asegurar un par más suficientemente. La totalidad del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 puede ubicarse más interna que la posición central 37c, o solo en una parte (es decir, la parte posicionada más hacia dentro con respecto a la dirección radial) del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 puede estar ubicada más interna que la posición central 37c.

**[0183]** En la presente invención, es deseable que, en el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35, al menos la parte posicionada más hacia dentro con respecto a la dirección radial esté ubicada entre la cara de imán 37b y la posición central 37c, es decir, la posición central entre la cara de imán 37b y la cara de imán 37a con respecto a la dirección radial de la rueda 12, como se muestra en la Figura 17(b).

**[0184]** Tal configuración asegura un par de reluctancia más alto.

**[0185]** Además, la totalidad del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 está situada fuera de la cara de imán 37b. Por lo tanto, se garantiza un intervalo (resistencia magnética) entre la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37 y el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35. Esto elimina la fuga, a la parte de yugo auxiliar 35, de flujos magnéticos dirigidos desde la cara de imán 37b hacia el diente 43. Además, se garantiza un intervalo (resistencia magnética) entre el diente 43 y el extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35. Esto suprime la fuga del diente 43 a la cara de imán 37b de la parte de imán permanente 37. Por consiguiente, se puede asegurar suficientemente un par de imán. Como resultado, se puede asegurar un par más suficientemente.

**[0186]** La totalidad del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 puede ubicarse entre la posición central 37c y la cara de imán 37b, o solo una parte (es decir, la parte situada más hacia dentro con respecto a la dirección radial) del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 puede estar ubicado entre la posición central 37c y la cara de imán 37b.

**[0187]** En la presente invención, es deseable que, en la superficie del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35, al menos la parte posicionada más hacia dentro con respecto a la dirección radial esté en la misma posición o sustancialmente en la misma posición que la posición de la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial de la rueda 12, como se muestra en la Figura 17(a).

**[0188]** Tal configuración asegura un par de reluctancia más alto.

**[0189]** En este caso, la totalidad del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35 puede estar en la misma posición, o sustancialmente en la misma posición, que la posición de la cara de imán 37b, o solo una parte (es decir, la parte posicionada más hacia dentro con respecto a la dirección radial) del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35, puede estar en la misma posición, o sustancialmente en la misma posición, que la posición de la cara de imán 37b. En este contexto, la expresión «sustancialmente en la misma posición» permite tolerancias que normalmente pueden establecerse en el campo de la presente invención y cualquier error (por ejemplo, errores debidos a la precisión del mecanizado de la parte de yugo auxiliar 35 y la precisión de conformación la parte de imán permanente 37) que pueda ocurrir normalmente en el campo de la presente invención.

**[0190]** En la presente invención, es deseable que, en la superficie del extremo más interno 35a de la parte de yugo auxiliar 35, al menos la parte posicionada más hacia dentro con respecto a la dirección radial esté ubicada más interna que la cara de imán 37b con respecto a la dirección radial de la rueda 12, como se muestra en la Figura 17(d).

**[0191]** Tal configuración asegura un par de reluctancia más alto.

**[0192]** Además, en un caso donde la parte de yugo posterior 34 y la parte de yugo auxiliar 35 se forman al realizar un proceso (por ejemplo, un proceso de estampado) en un elemento hecho de un cuerpo magnético (por ejemplo, un elemento hecho de hierro), se puede obtener una mayor precisión de dimensión en comparación con la parte de imán permanente 37 que es un imán sinterizado. En el ejemplo mostrado en la Figura 17(d), la parte de yugo auxiliar 35 que tiene una alta precisión de dimensión, está ubicada más interna que la parte de imán permanente 37 con respecto a la dirección radial de la rueda 12. Esto logra un intervalo más estrecho entre la parte de yugo auxiliar 35 y el diente 43 al tiempo que evita la aparición de contacto entre la parte de yugo auxiliar 35 y el diente 43 (núcleo de estator ST). En otras palabras, esto permite que la parte de yugo auxiliar 35 sobresalga radialmente hacia dentro en un alto grado, mientras evita el contacto entre la parte de yugo auxiliar 35 y el diente 43. Como resultado, se obtiene un mayor par de reluctancia.

**[0193]** Aunque las realizaciones descritas anteriormente ilustran un caso en el que la relación saliente-polo  $Lq/Ld$  del motor eléctrico es 2 o más, la presente invención no se limita a este caso de ejemplo. Basta con que la relación saliente-polo del motor eléctrico exceda de 1.

65

**[0194]** En el ejemplo descrito con referencia a la Figura 10(a) y la Figura 11, el ancho circunferencial  $L_{43}$  de la parte principal 43a del diente 43 es igual al ancho circunferencial  $L_{43}$  de la porción de extremo distal 43c del diente 43. Como alternativa, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de manera que la parte extrema del diente tenga partes sobresalientes que sobresalgan de la porción principal hacia los lados opuestos de la porción principal con respecto a la dirección circunferencial. En otras palabras, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de manera que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal sea mayor que el ancho circunferencial de la porción principal.

**[0195]** Como alternativa, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de manera que el ancho circunferencial de la porción de extremo distal del diente sea más pequeño que el ancho circunferencial de una porción del diente que tiene un ancho circunferencial máximo. En tal caso, el hueco entre dientes es grande y, por lo tanto, el grado de libertad en el diseño del bobinado se mejora adicionalmente. Por ejemplo, se permite aumentar aún más el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un diámetro mayor. Por consiguiente, se puede obtener un mayor par y un mayor rendimiento.

**[0196]** La realización descrita anteriormente adopta un imán de ferrita para la parte de imán permanente. En el motor de accionamiento síncrono de la presente invención, también se puede adoptar un imán de tierras raras para la parte de imán permanente. Por ejemplo, puede adoptarse un imán enlazado de neodimio, un imán de samario-cobalto, un imán de neodimio, y similares, para la parte de imán permanente. Dado que un imán de tierras raras tiene altas características magnéticas, el espesor del mismo es pequeño. A condición de que el tamaño del motor de accionamiento síncrono sea constante, proporcionar un mayor número de caras de imán que el número de dientes da como resultado un ancho circunferencial más pequeño de la cara de imán. Un efecto del aumento del coeficiente de permeabilidad debido al pequeño ancho circunferencial de la cara de imán se ejerce altamente en un imán que tiene un espesor pequeño. Se logra el uso de un imán de tierras raras con altas características magnéticas y la obtención del efecto de un alto coeficiente de permeabilidad. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

**[0197]** En el motor de accionamiento síncrono descrito anteriormente, la parte de imán permanente se dispone radialmente fuera del estator. En su lugar, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de modo que la parte de imán permanente esté dispuesta radialmente en el interior del estator. Esta configuración incluye un rotor interno y un estator externo. En tal caso, la porción de extremo distal del diente se opone a la cara de imán dispuesta radialmente en el interior del estator. Por lo tanto, un intervalo entre dientes adyacentes con respecto a la dirección circunferencial disminuye en una ubicación más cercana a la porción de extremo distal con respecto a la dirección radial. Tal configuración ejerce en mayor medida el efecto de que el grado de libertad en la disposición del bobinado aumenta debido a que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, y el ancho circunferencial de la porción de extremo distal es menor que el ancho circunferencial de la cara de imán. Por lo tanto, se permite aumentar el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un gran diámetro. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

**[0198]** Como alternativa, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de modo que el rotor esté dispuesto con las caras de imán opuestas a los dientes con respecto a la dirección del eje de rotación. En tal configuración, la porción de extremo distal del diente está opuesta a la cara de imán con respecto a la dirección del eje de rotación. Por lo tanto, el diente se extiende en la dirección del eje de rotación. Esto proporciona un alto grado de libertad en la disposición del bobinado. Adicionalmente, se ejerce en gran medida el efecto de que el grado de libertad en la disposición del bobinado aumenta debido a que el número de caras de imán es mayor que el número de dientes, y el ancho circunferencial de la porción de extremo distal es menor que el ancho circunferencial de la cara de imán. Como resultado, se permite aumentar el número de vueltas del bobinado o adoptar un cable que tenga un gran diámetro. Por consiguiente, se puede satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un mayor nivel.

**[0199]** La realización descrita anteriormente ilustra, como ejemplo del motor de accionamiento síncrono de la presente invención, un motor de accionamiento síncrono para impulsar una rueda de un vehículo. Sin embargo, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención no está limitado al mismo, y es aplicable, por ejemplo, a un motor para arrancar un motor. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención también es aplicable a un motor para accionar un mecanismo incluido en un producto industrial y de consumo. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención, que está montado en una maquinaria que incluye un objeto a impulsar y una batería, puede configurarse para recibir un suministro de corriente desde la batería y conducir el objeto a impulsar. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención, que está montado en una maquinaria que incluye un objeto a impulsar y conectar a una batería, puede configurarse para recibir un suministro de corriente desde la batería y conducir el objeto a impulsar. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención es capaz de satisfacer un alto par, un alto rendimiento y una reducción de tamaño a un alto nivel. Por lo tanto, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención es adecuado para su uso en una situación en la que el motor de accionamiento síncrono se impulsa por una batería. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención es adecuado para su uso en una situación en la que se monta en una maquinaria que incluye un objeto a impulsar. El objeto para impulsar no está particularmente limitado, y puede ser el cigüeñal de un motor, una rueda y similares. La maquinaria no está



particularmente limitada, y puede ser una unidad de motor, un vehículo y similares.

**[0200]** Aunque la realización descrita anteriormente ilustra el motor de accionamiento síncrono SG que funciona como un generador, esto no es limitativo. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede funcionar solo como un motor.

**[0201]** Aunque la realización descrita anteriormente ilustra el motor de accionamiento síncrono SG que incluye seis o más dientes 43, no se pone ninguna limitación particular en el número de dientes en el motor de transmisión síncrono de la presente invención. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede incluir cinco dientes o menos.

**[0202]** Aunque la realización descrita anteriormente ilustra el ejemplo en el que el espesor axial de la porción de extremo distal es mayor que el ancho circunferencial del mismo, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención no está limitado al mismo. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de manera que el espesor axial de la porción de extremo distal pueda ser más pequeño que el ancho circunferencial del mismo.

**[0203]** Aunque la realización descrita anteriormente ilustra el ejemplo en el que, cuando se observa a lo largo del eje de rotación, el borde externo del bobinado enrollado en el diente con respecto a la dirección circunferencial se encuentra más externo que el borde externo de la porción de extremo distal del diente con respecto a la dirección circunferencial, el motor de accionamiento síncrono de la presente invención no está limitado al mismo. El motor de accionamiento síncrono de la presente invención puede configurarse de manera que el borde externo del bobinado con respecto a la dirección circunferencial esté situado más interno que el borde externo de la porción de extremo distal del diente con respecto a la dirección circunferencial.

**[0204]** Debe entenderse que los términos y expresiones utilizados en el presente documento son para descripción y no tienen la intención de interpretarse de una manera limitada, no eliminan ningún equivalente de las características mostradas y mencionadas en el presente documento, y permiten diversas modificaciones que están dentro del alcance reivindicado de la presente invención.

**[0205]** La presente invención puede realizarse de muchas formas diferentes. Se debe considerar que la presente descripción proporciona ejemplos de los principios de la invención. Se describen varias realizaciones ilustrativas en el presente documento con el entendimiento de que dichos ejemplos no pretenden limitar la invención a realizaciones preferidas descritas en el presente documento y/o ilustradas en el presente documento.

**[0206]** Si bien algunas realizaciones ilustrativas de la invención se han descrito en el presente documento, la presente invención no se limita a las diversas realizaciones preferidas descritas en el presente documento. Las limitaciones de las reivindicaciones deben interpretarse ampliamente en función del lenguaje empleado en las reivindicaciones y no se limitan a los ejemplos descritos en la presente memoria descriptiva o durante el procesamiento de la solicitud, cuyos ejemplos deben interpretarse como no exclusivos. Por ejemplo, en la presente descripción, el término «preferentemente» no es exclusivo y significa «preferentemente, pero sin limitación».

Lista de signos de referencia

**[0207]**

30	rotor
34	parte de yugo posterior
35, 235	parte de yugo auxiliar
37	parte de imán permanente
37b	cara de imán
40, 240	estator
43	diente
43c	porción de extremo distal
SG, SG2	motor de accionamiento síncrono
SL	ranura
ST	núcleo de estator
W	bobinado
d	hueco entre dientes

**REIVINDICACIONES**

1. Un motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) que comprende:

- 5 un estator (40, 240) que incluye un núcleo de estator (ST) y bobinados (W), incluyendo el núcleo de estator (ST) una pluralidad de dientes (43) que están separados entre sí por una ranura (SL) formada entre los mismos con respecto a una dirección circunferencial, extendiéndose el bobinado (W) a través de la ranura (SL), incluyendo cada uno de la pluralidad de dientes (43) una porción enrollada con el bobinado (W); y
- 10 un rotor (30) que incluye una pluralidad de partes de imán permanente (37), una parte de yugo posterior (34) y una pluralidad de partes de yugo auxiliar (35, 235), estando la pluralidad de partes de imán permanente (37) dispuestas a intervalos en la dirección circunferencial, teniendo cada una de la pluralidad de partes de imán permanente (37) una primera cara de imán (37b) orientada hacia el núcleo de estator (ST) y una segunda cara de imán (37a) orientada opuesta al núcleo de estator (ST), soportando la parte de yugo posterior (34) la pluralidad de partes de imán permanente (37), estando la parte de yugo posterior (34) proporcionada opuesta a las primeras caras de imán (37b) de la pluralidad de partes de imán permanente (37) con respecto a una dirección en la que el núcleo de estator (ST) y las primeras caras de imán (37b) están opuestas entre sí, estando la pluralidad de partes de yugo auxiliar (35, 235) proporcionadas a la parte de yugo posterior (34) y dispuestas en los intervalos, estando la pluralidad de partes de yugo auxiliar (35, 235) opuestas al núcleo de estator (ST),
- 20 incluyendo cada uno de la pluralidad de dientes (43) una porción de extremo distal (43c) que está opuesta a la primera cara de imán (37b), teniendo la porción de extremo distal (43c) un ancho circunferencial más pequeño que la suma de un ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y un ancho circunferencial de una superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235), siendo el número de las primeras caras de imán (37b) más que el
- 25 número de los dientes (43), en el que, en una superficie de un extremo más interno (35a) de la parte de yugo auxiliar (35, 235), al menos una parte posicionada más hacia adentro con respecto a la dirección radial está situada más interna que una posición central (37c) que es una posición central entre la primera y la segunda caras de imán (37a, 37b) con respecto a la dirección radial, en el que un hueco entre las partes de extremo distal (43c) de los dientes (43) adyacentes entre sí con respecto a la dirección circunferencial es mayor que el ancho circunferencial de la porción de
- 30 extremo distal (43c).

2. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según la reivindicación 1, en el que

- la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial
- 35 de la primera cara de imán (37b) y la mitad del ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235).

3. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según la reivindicación 1, en el que

- 40 la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que el ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b).

4. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que

- 45 el núcleo de estator (ST) incluye seis o más dientes (43), cada uno de los seis o más dientes (43) incluye una porción de extremo distal (43c) que está opuesta a la primera cara de imán (37b), y la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235).

5. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que

- la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial
- 55 de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235) y que un ancho circunferencial de una porción que tiene el ancho circunferencial mayor del diente (43).

6. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que

- la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235), y la porción de extremo distal (43c) tiene un espesor axial mayor que el ancho circunferencial de la
- 65 porción de extremo distal (43c).

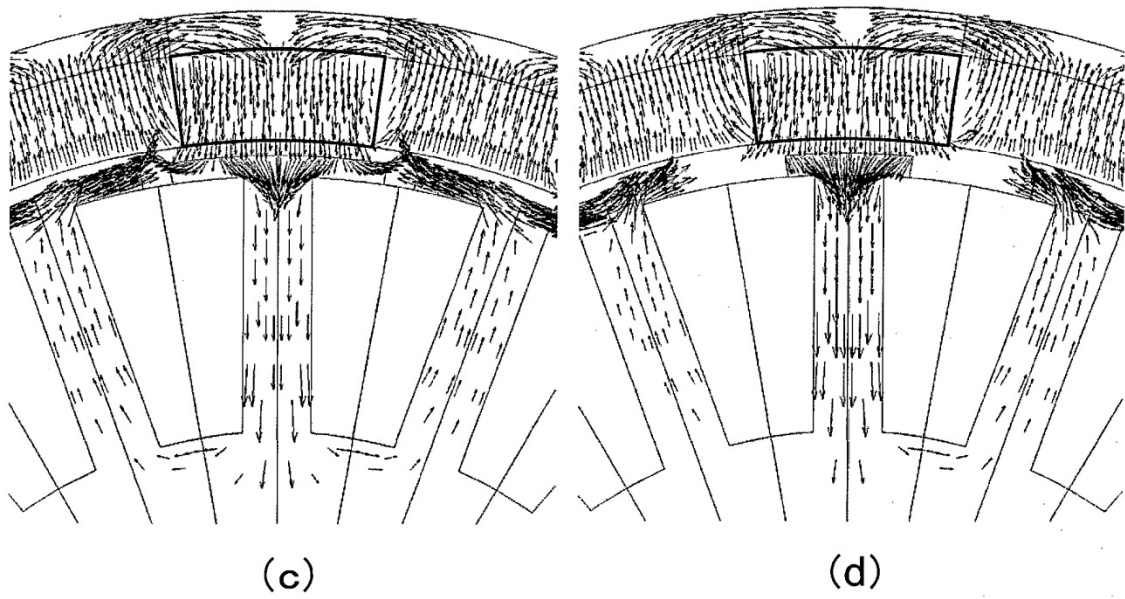
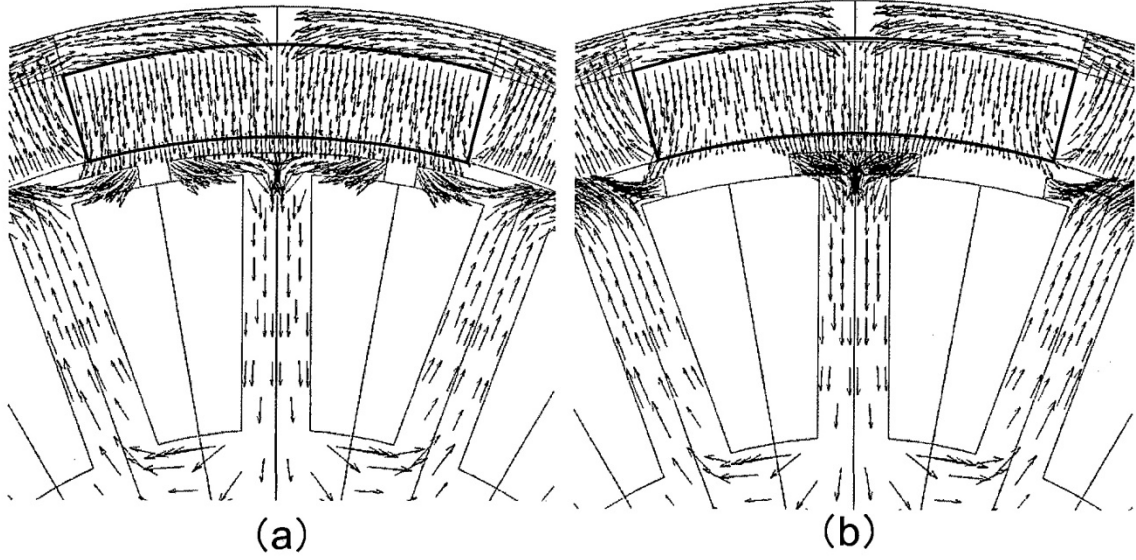
7. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que
- 5 cuando la porción de extremo distal (43c) se ve a lo largo de un eje de rotación del motor de accionamiento síncrono (SG, SG2), un borde exterior (Ws) del bobinado (W) enrollado en el diente (43) con respecto a la dirección circunferencial está situado más externo que un borde exterior de la porción de extremo distal (43c) del diente (43) con respecto a la dirección circunferencial.
- 10 8. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que
- la parte de imán permanente (37) está dispuesta radialmente fuera del estator (40, 240),
- 15 cada uno de los dientes (43) incluye una porción de extremo distal (43c) que está opuesta a la primera cara de imán (37b) dispuesta radialmente fuera del estator (40, 240), y la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235).
- 20 9. El motor de accionamiento síncrono según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que
- la parte de imán permanente está dispuesta radialmente en el interior del estator,
- 25 cada uno de los dientes incluye una porción de extremo distal que está opuesta a la primera cara de imán dispuesta radialmente en el interior del estator, y la porción de extremo distal tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal de la parte de yugo auxiliar.
10. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que
- 30 el rotor (30) está dispuesto estando las primeras caras de imán (37b) opuestas a los dientes (43) con respecto a la dirección del eje de rotación del rotor (30), cada uno de los dientes (43) incluye una porción de extremo distal (43c) que está opuesta a la primera cara de imán (37b) con respecto a la dirección del eje de rotación, y la porción de
- 35 extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235).
11. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que
- 40 la parte de imán permanente (37) está formada por un imán de tierras raras,
- 45 cada uno de los dientes (43) incluye una porción de extremo distal (43c) que está opuesta a la primera cara de imán (37b) formada por el imán de tierras raras, y la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235).
12. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que
- 50 la parte de imán permanente (37) está formada por un imán de ferrita,
- 55 cada uno de los dientes (43) incluye una porción de extremo distal (43c) que está opuesta a la primera cara de imán (37b) formada por el imán de ferrita, y la porción de extremo distal (43c) tiene un ancho circunferencial más pequeño que la suma del ancho circunferencial de la primera cara de imán (37b) y el ancho circunferencial de la superficie de extremo distal (35p) de la parte de yugo auxiliar (35, 235).
13. El motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que cada una de la pluralidad de partes de imán permanente (37) tiene un par de un polo N y un polo S (37i, 37o), en el que cada una de la pluralidad de partes de imán permanente (37) está dispuesta de tal manera que el polo S y el polo N están orientados en direcciones opuestas con respecto a una dirección radial, en el que una de la primera y segunda caras de imán (37a, 37b) proporciona el polo S y la otra de la primera y segunda caras de imán (37a, 37b) proporciona el polo N.
- 60
- 65

14. Una unidad de accionamiento que comprende:

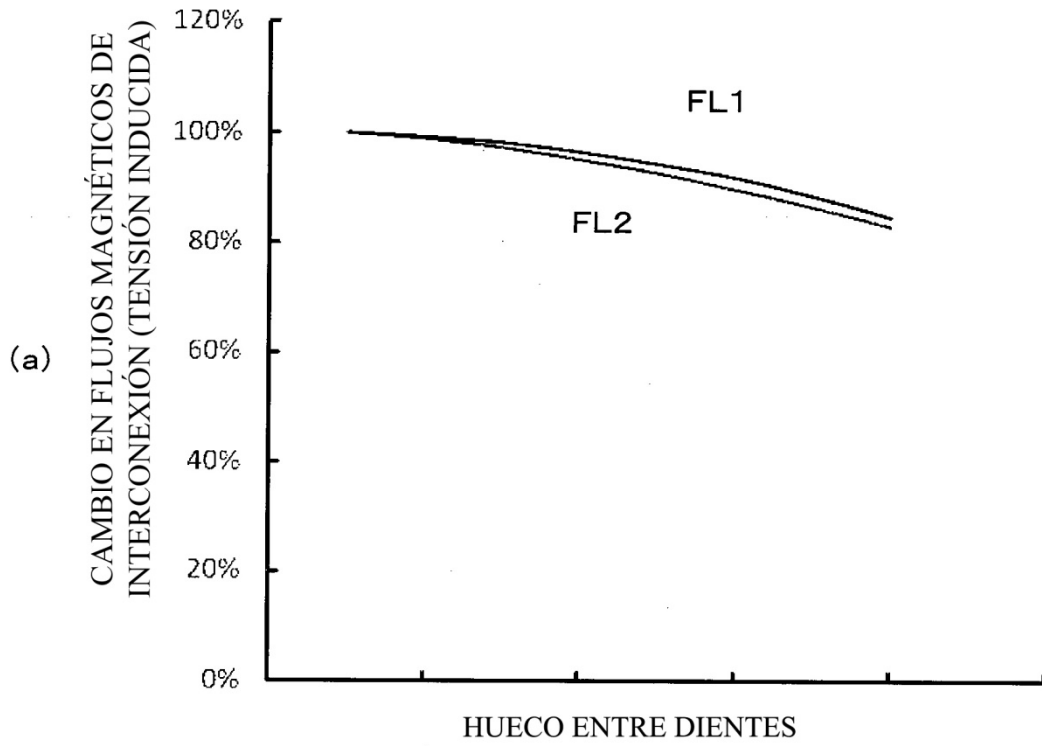
el motor de accionamiento síncrono (SG, SG2) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13; y

5 un dispositivo de control configurado para suministrar, al bobinado (W), una corriente de accionamiento que incluye una componente de corriente del eje d.

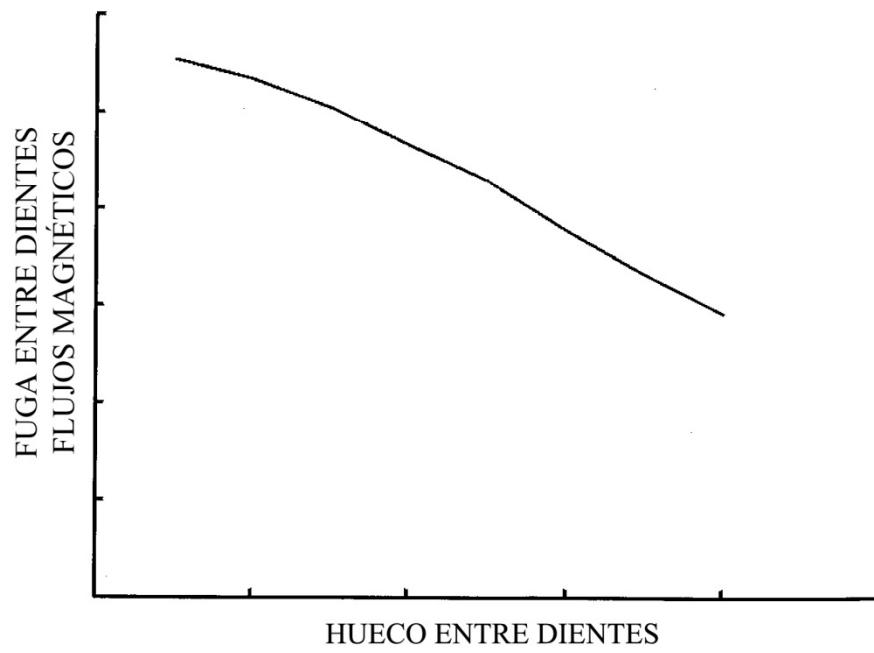
[Fig.1]



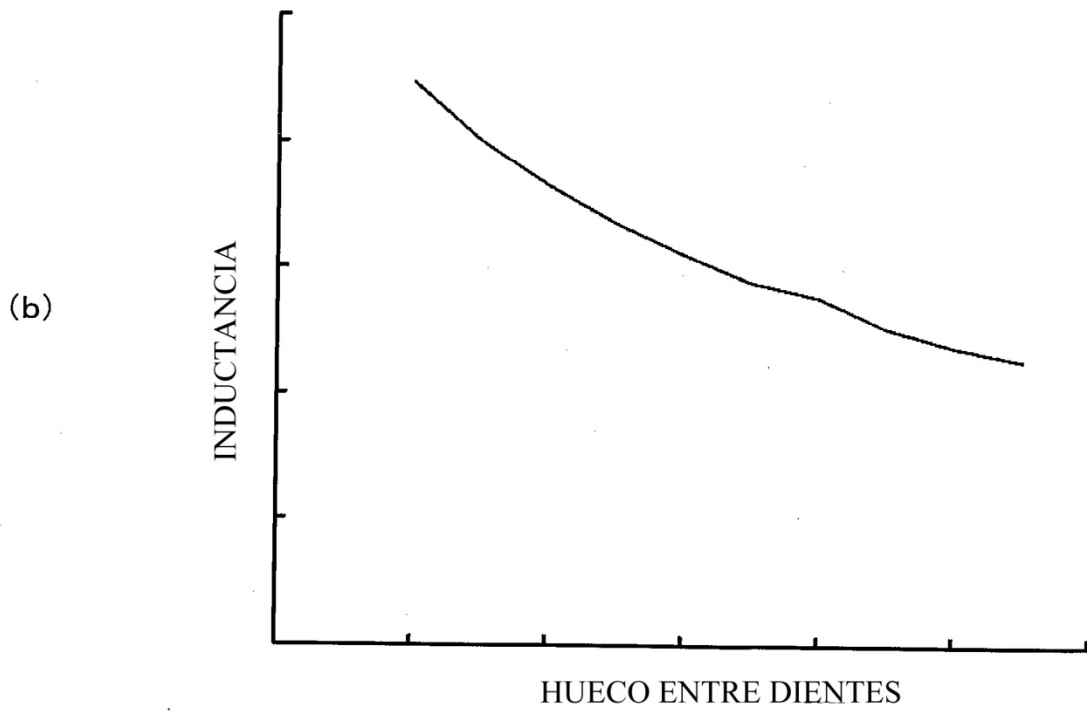
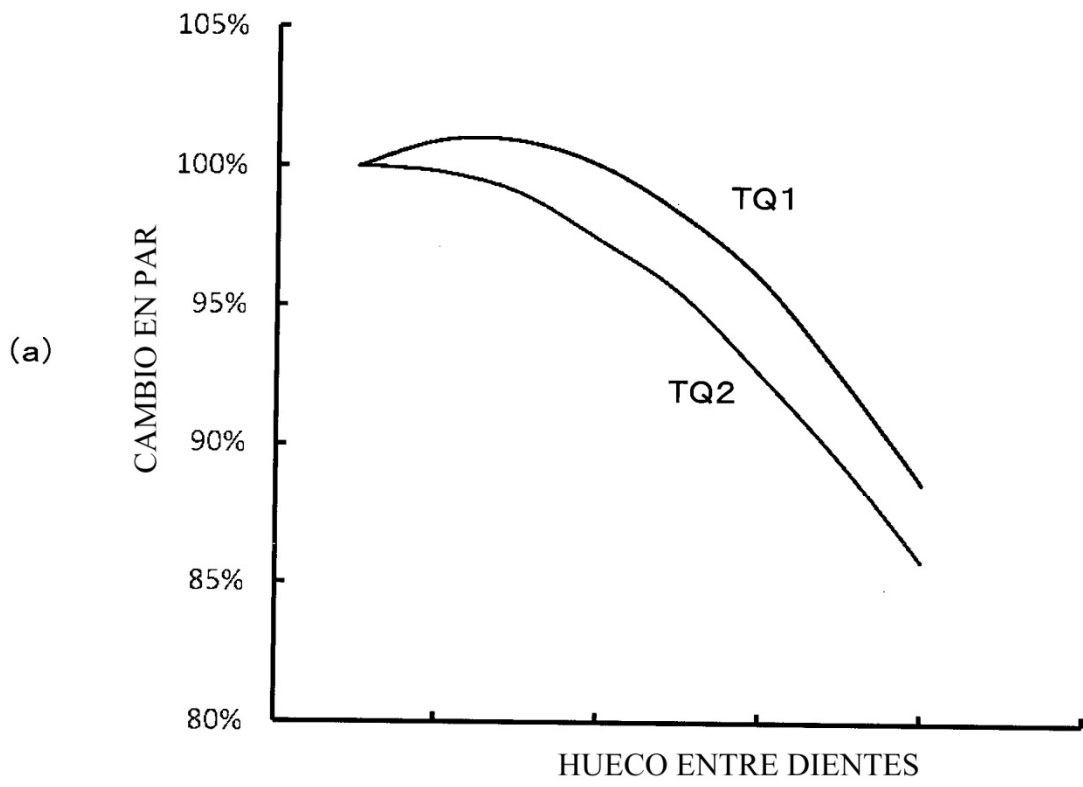
[Fig.2]



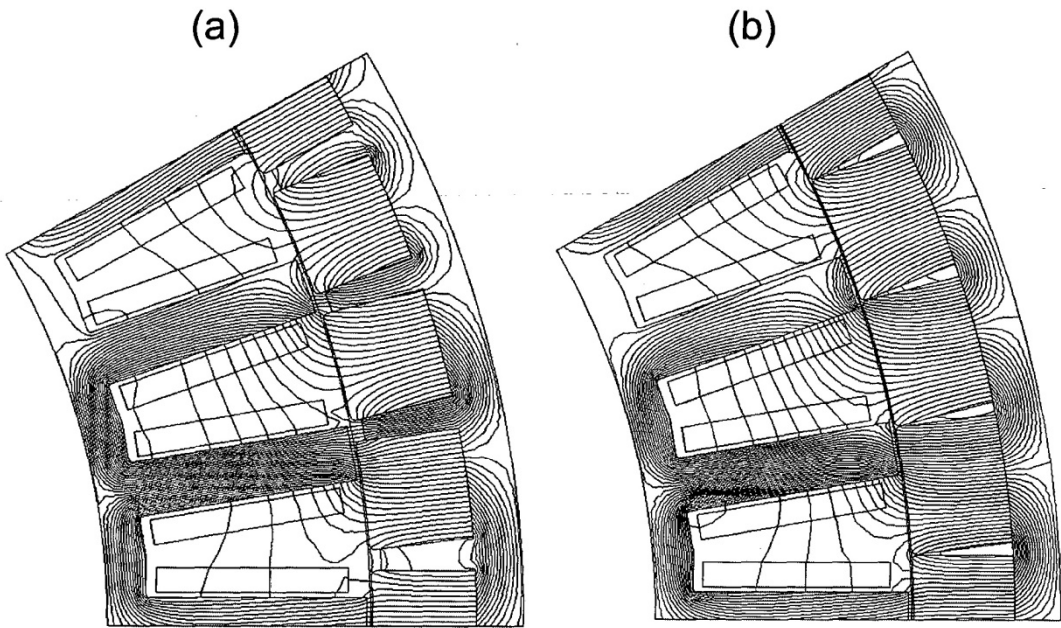
(b)



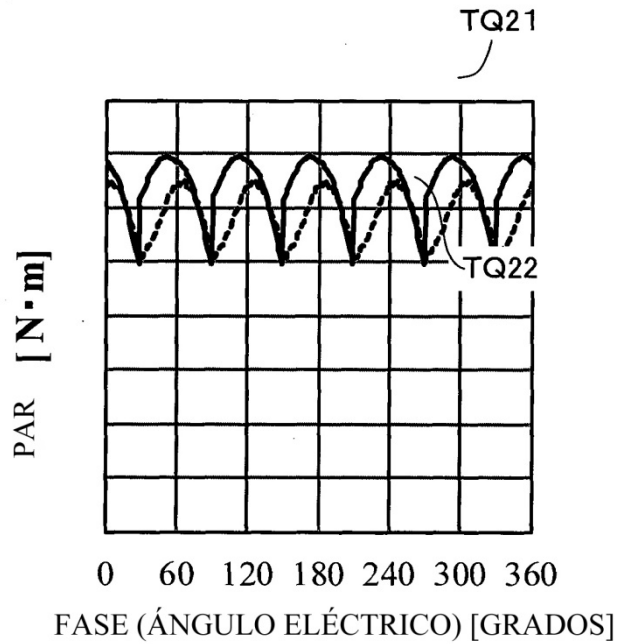
[Fig.3]



[Fig.4]

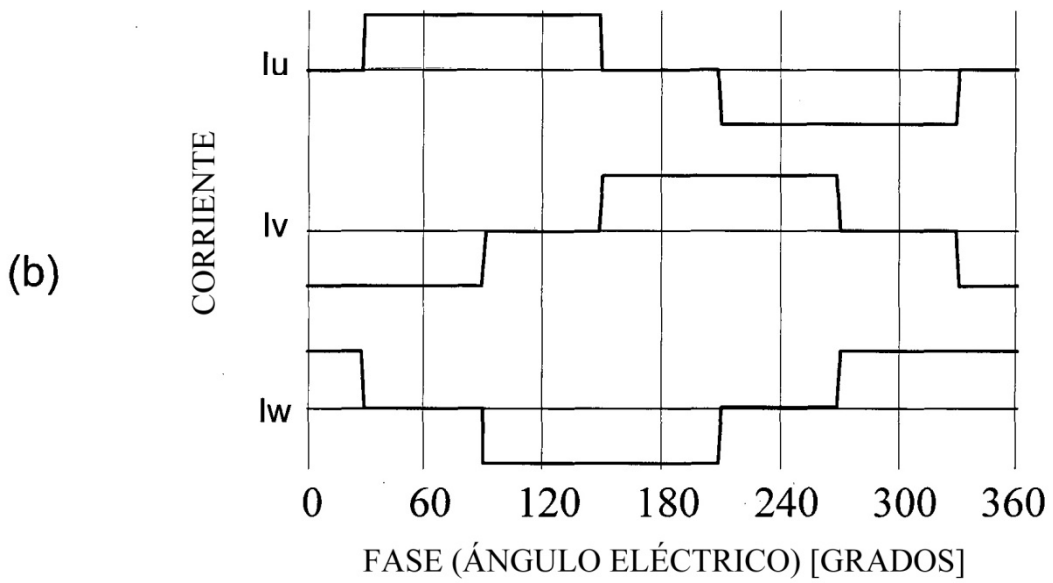
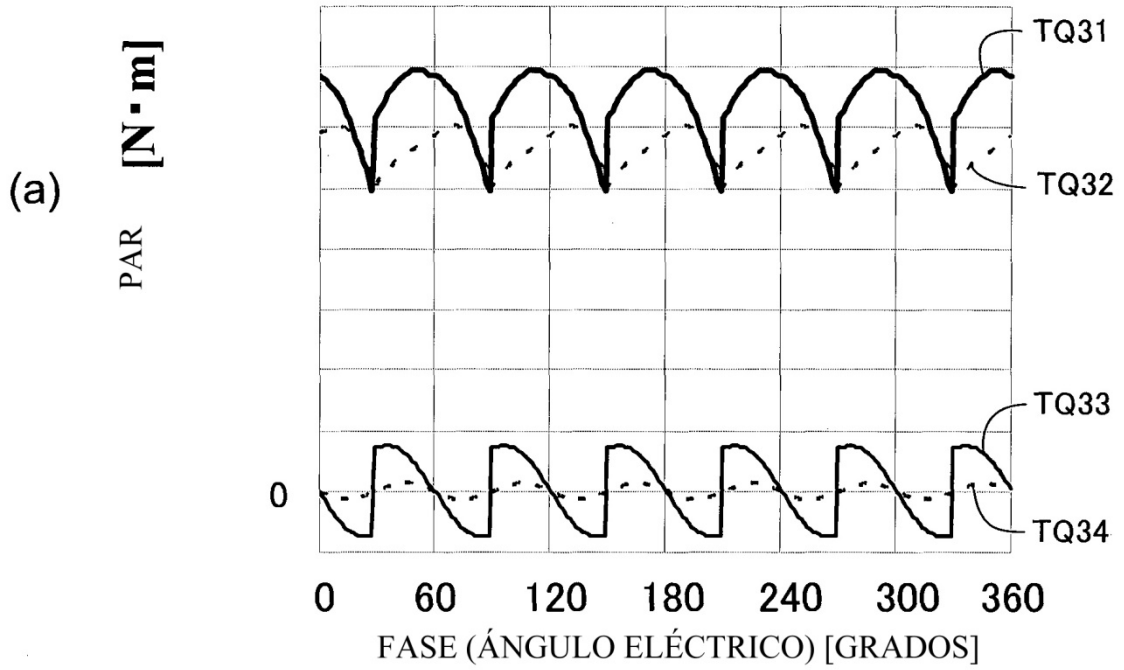


(c)

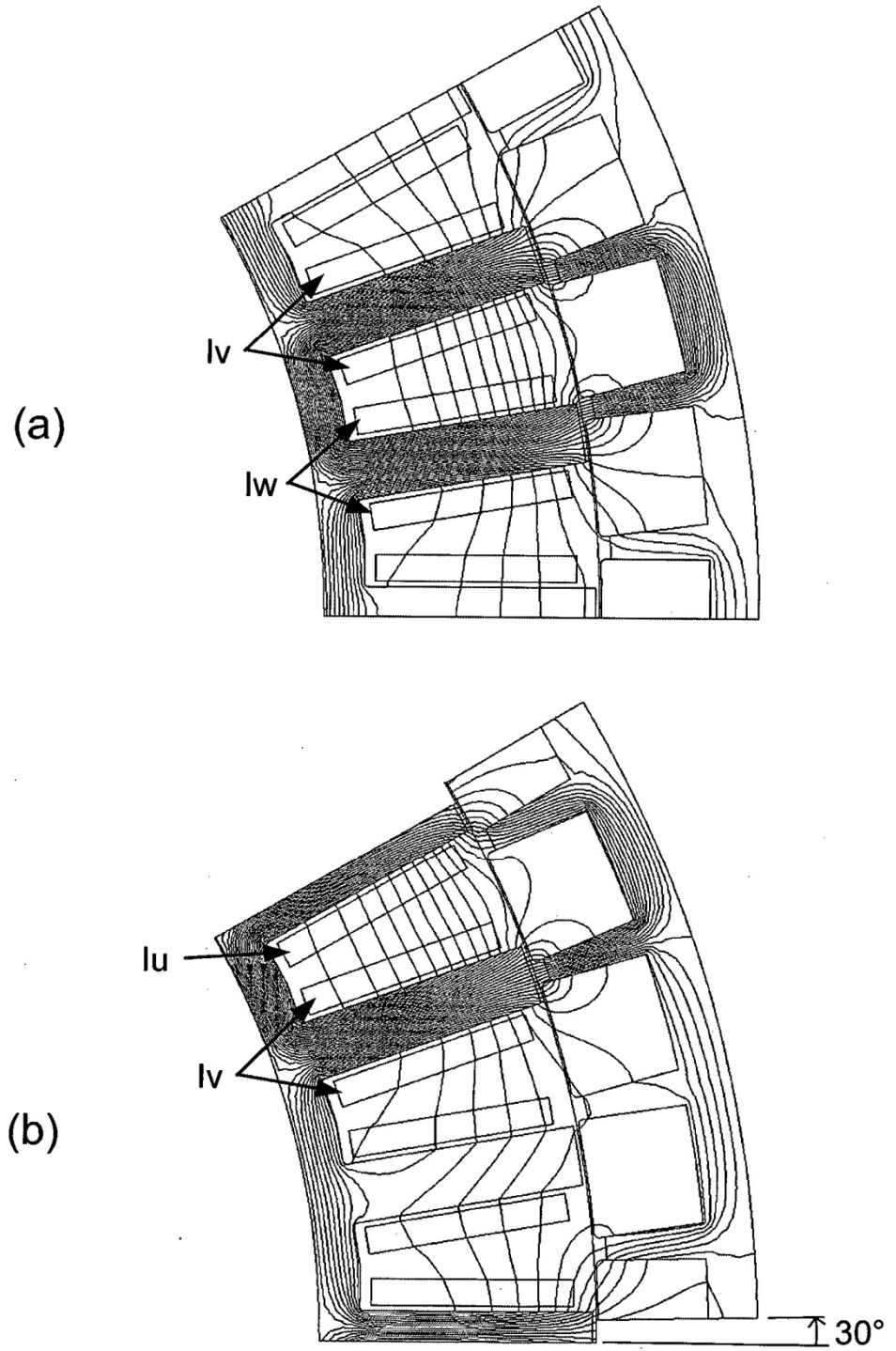




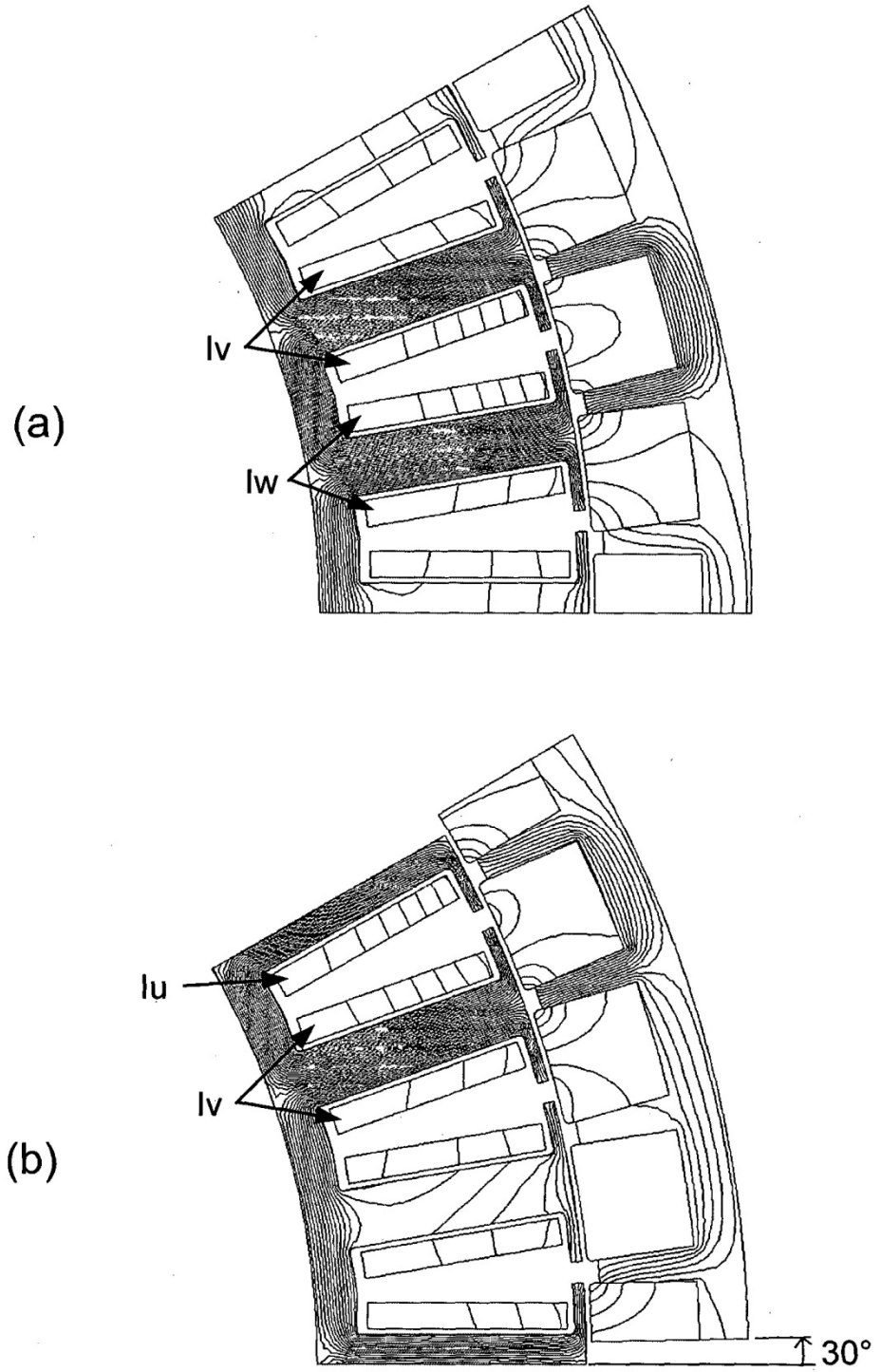
[Fig.5]



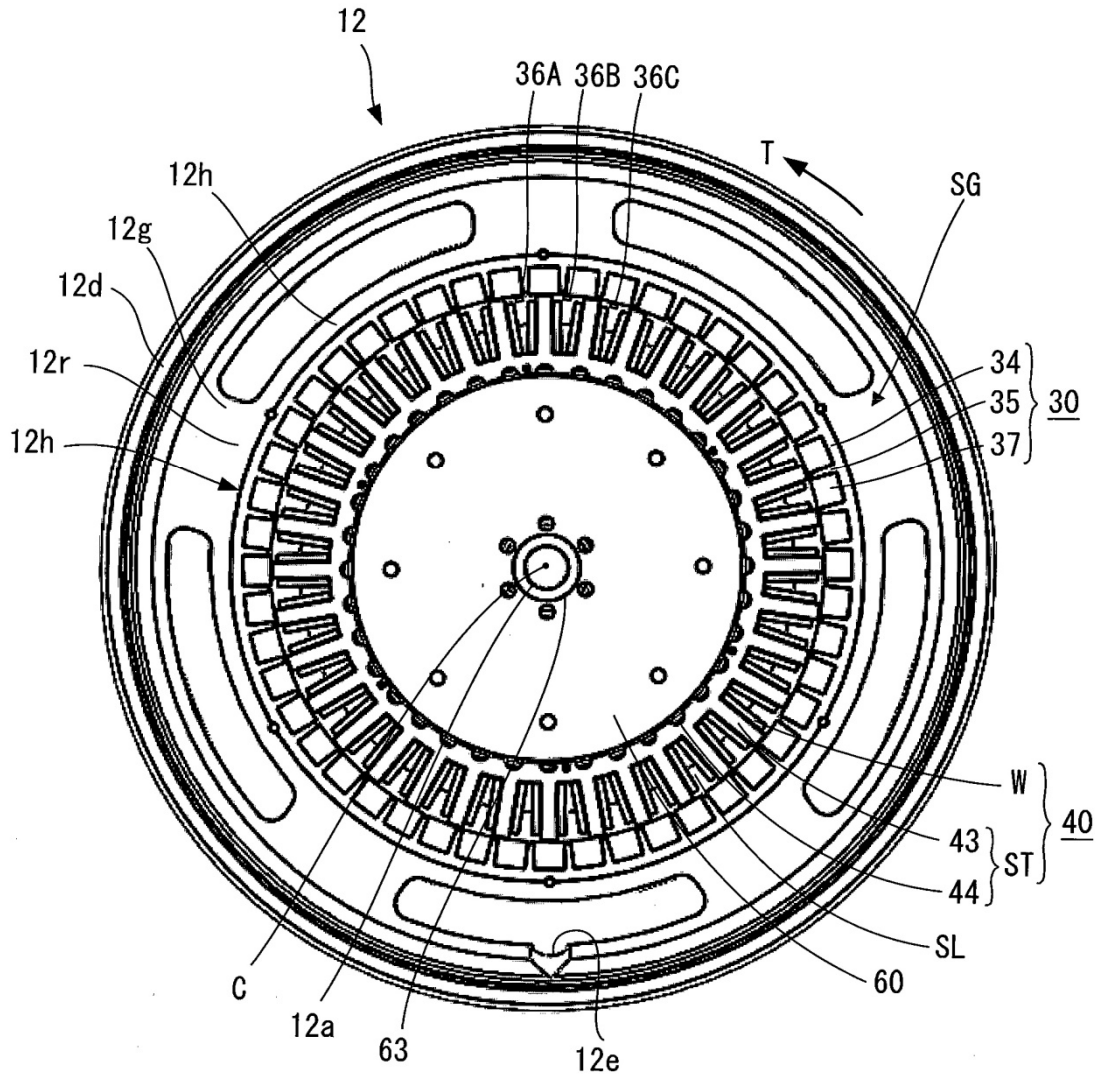
[Fig.6]



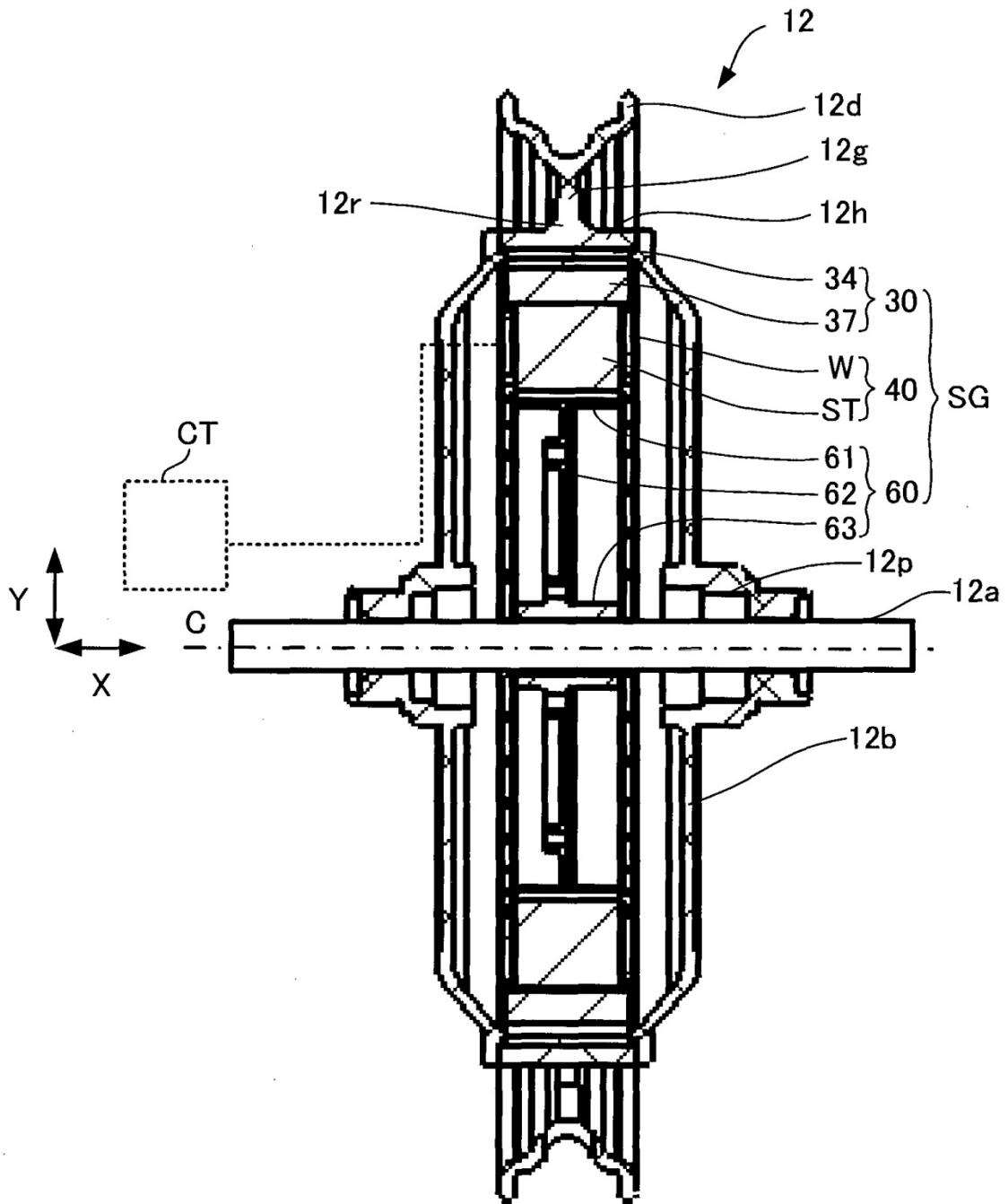
[Fig.7]



[Fig.8]

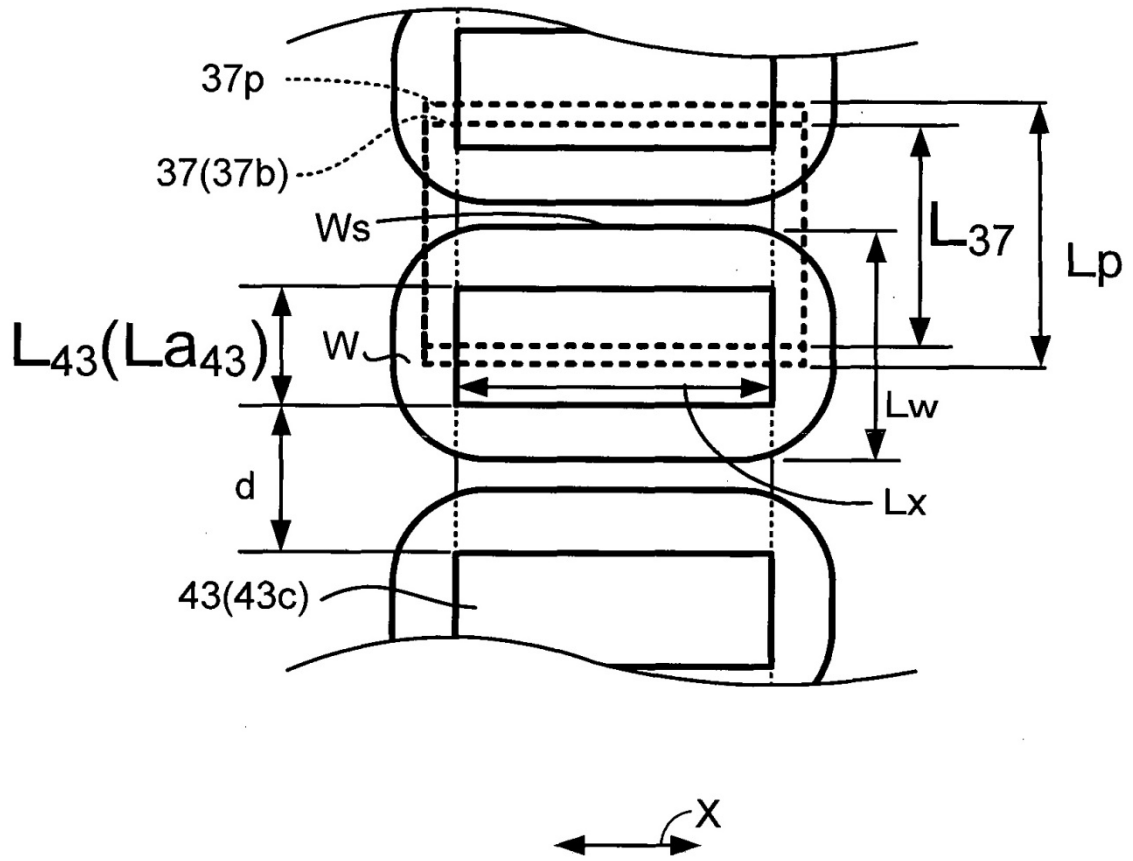


[Fig.9]

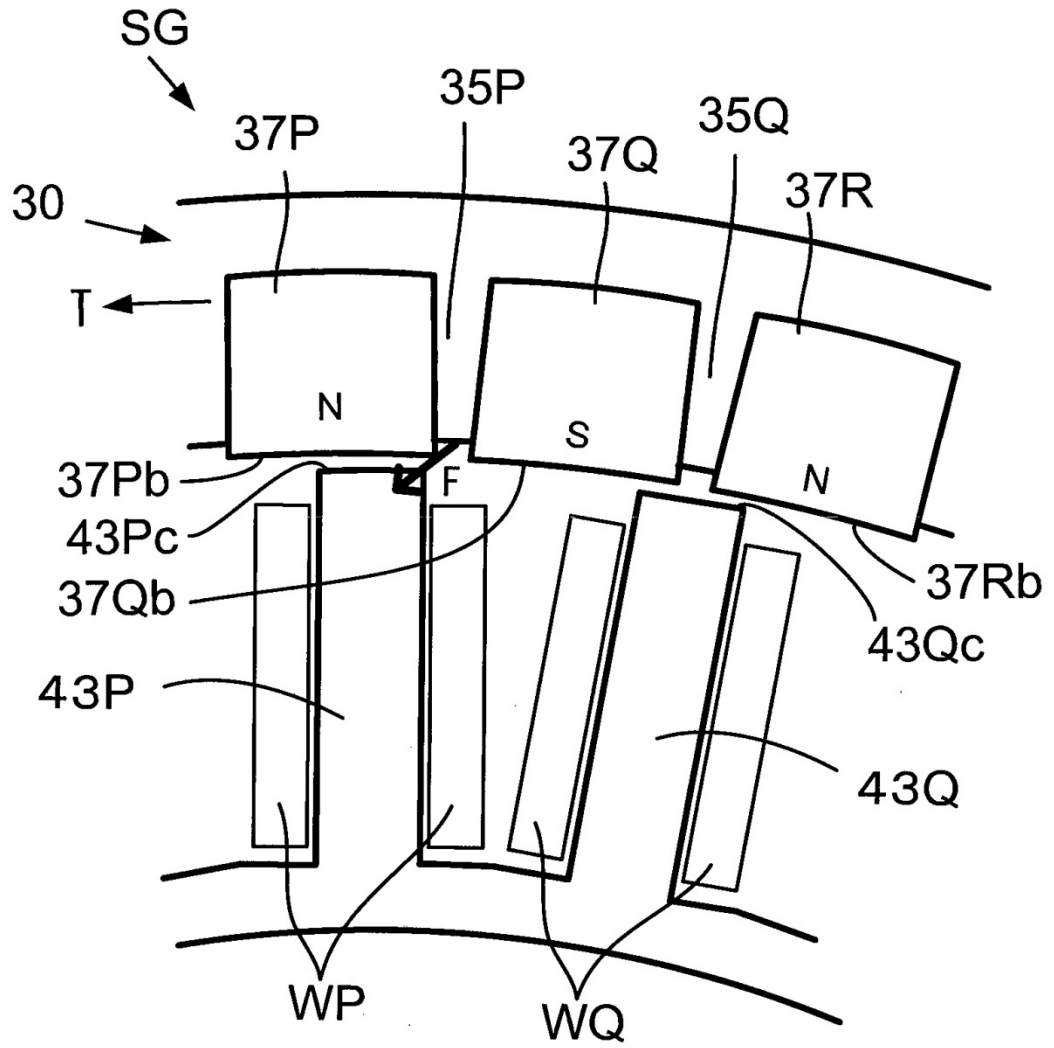




[Fig.11]

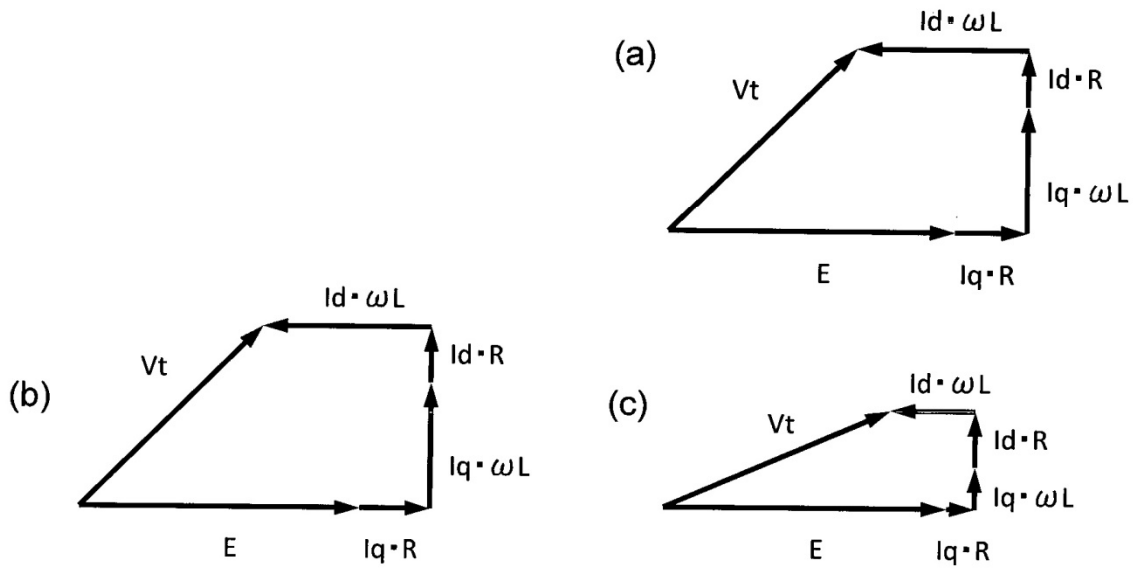


[Fig.12]

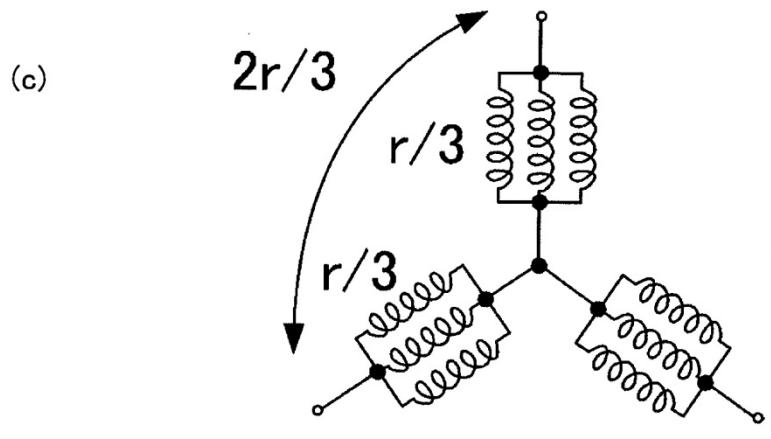
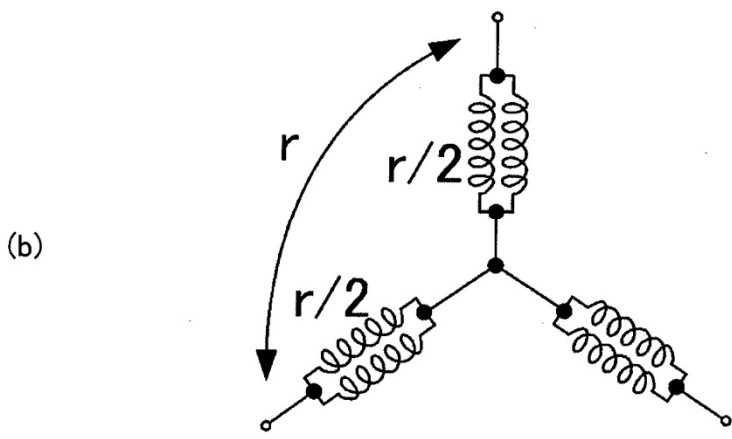
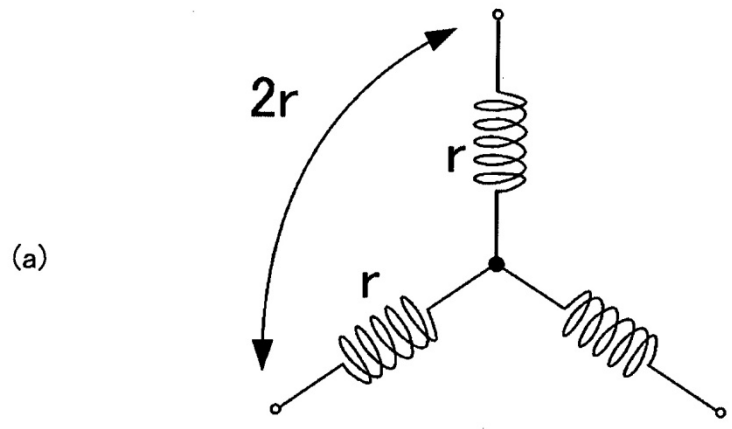




[Fig.13]

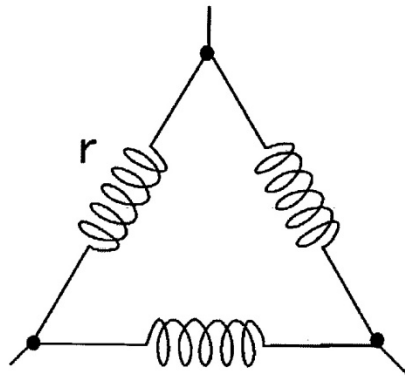


[Fig.14]

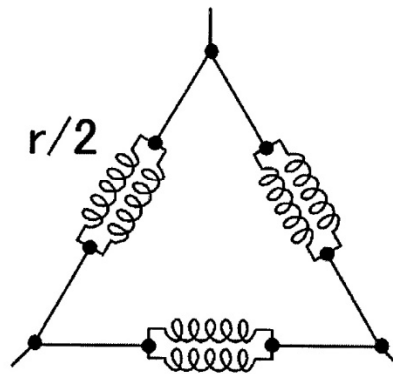


[Fig.15]

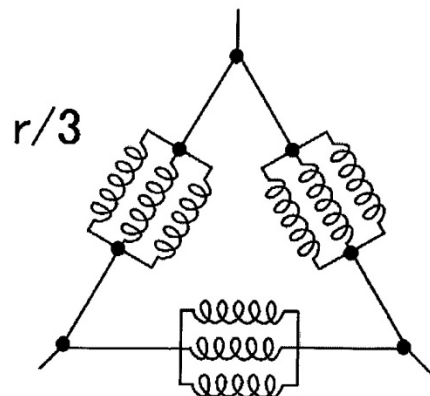
(a)



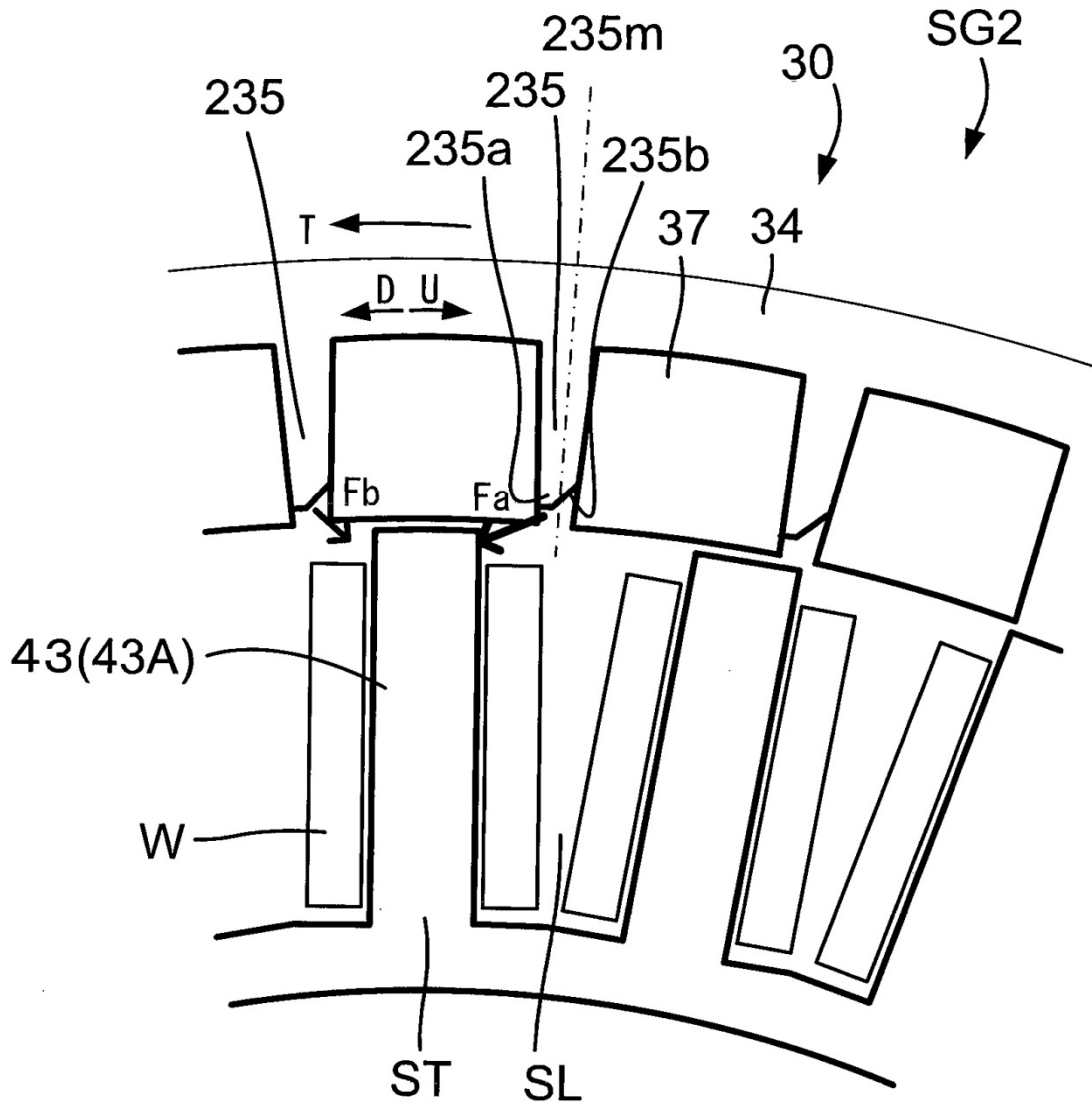
(b)



(c)



[Fig.16]



[Fig.17]

