

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 286**

51 Int. Cl.:  
**H02K 16/02** (2006.01)  
**H02K 21/12** (2006.01)  
**H02K 41/03** (2006.01)  
**H02P 25/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09733208 .4**  
96 Fecha de presentación: **18.02.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2273657**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.01.2011**

54 Título: **Motor eléctrico**

30 Prioridad:  
**14.04.2008 JP 2008105058**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**20.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**20.07.2012**

73 Titular/es:  
**Honda Motor Co., Ltd.**  
**1-1, Minami-Aoyama 2-chome Minato-ku**  
**Tokyo 107-8556, JP**

72 Inventor/es:  
**OYA, Satoyoshi;**  
**KASAOKA, Kota;**  
**ABE, Noriyuki y**  
**AKUTSU, Shigemitsu**

74 Agente/Representante:  
**Ungría López, Javier**

ES 2 385 286 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 eléctrico

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un motor eléctrico que incluye una pluralidad de elementos móviles o estatores, y convierte la potencia eléctrica suministrada en potencia para la salida de la potencia de los elementos móviles.

10 **Antecedentes de la invención**

Convencionalmente, como un motor eléctrico de este tipo se conoce el descrito en la literatura de patentes 1. El motor eléctrico es la denominada máquina rotativa, e incluye un primer rotor y un segundo rotor que están conectados a un primer eje de giro y un segundo eje de giro, respectivamente, y un solo estator. Los ejes rotativos primero y segundo están dispuestos concéntricamente uno con otro, mientras que el primer rotor, el segundo rotor y el estator están dispuestos en la dirección de radio del primer eje de giro desde dentro en el orden indicado.

El primer rotor incluye una pluralidad de primeros imanes permanentes y segundos imanes permanentes que están dispuestos en la dirección circunferencial, respectivamente. Los imanes permanentes primeros y segundos están dispuestos en paralelo uno con otro en la dirección de eje del primer rotor. El estator está configurado para generar un primer campo magnético rotativo y un segundo campo magnético rotativo que giran en la dirección circunferencial. El primer campo magnético rotativo se genera entre el estator y una porción del primer rotor hacia los primeros imanes permanentes, y el segundo campo magnético rotativo se genera entre el estator y una porción del primer rotor hacia los segundos imanes permanentes. El segundo rotor incluye una pluralidad de primeros núcleos y segundos núcleos que están dispuestos en la dirección circunferencial, respectivamente. Estos núcleos primeros y segundos están compuestos de elementos magnéticos de material blando. Los primeros núcleos están dispuestos entre una porción del primer rotor hacia los primeros imanes permanentes y el estator, y los segundos núcleos están dispuestos entre una porción del primer rotor hacia los segundos imanes permanentes y el estator. Los números de los polos magnéticos de los imanes permanentes primeros y segundos, los números de los polos magnéticos de los campos magnéticos rotativos primero y segundo, y los números de los núcleos primeros y segundos se ponen de manera que sean iguales uno a otro, respectivamente.

En el motor eléctrico dispuesto como se ha descrito anteriormente, dado que los campos magnéticos rotativos primero y segundo son generados por el suministro de potencia eléctrica al estator, los núcleos primeros y segundos son magnetizados por los polos magnéticos de los campos magnéticos rotativos primero y segundo y los polos magnéticos de los imanes permanentes primeros y segundos, por lo que se generan líneas de fuerza magnética entre estos elementos. Además, los rotores primero y segundo son movidos por la acción producida por las fuerzas magnéticas de las líneas de fuerza magnética, y, a su vez, la potencia sale de los ejes rotativos primero y segundo.

En el motor eléctrico convencional antes descrito, debido a su disposición, para hacer que las fuerzas magnéticas de las líneas de fuerza magnética actúen adecuadamente con el fin de convertir la potencia eléctrica suministrada al estator en potencia y de enviar la potencia de los ejes rotativos primero y segundo, no solamente una primera fila de elementos de material magnético blando compuesta de la pluralidad de primeros núcleos, sino también una segunda fila de elementos de material magnético blando compuesta de la pluralidad de segundos núcleos son indispensables, y es inevitable que den lugar a un aumento del tamaño del motor eléctrico, y un aumento de sus costos de fabricación. Además, debido a su disposición, el motor eléctrico solamente es posible cuando mantiene la relación de velocidad a la que la diferencia entre la velocidad rotacional de los campos magnéticos rotativos primero y segundo y la velocidad rotacional del segundo rotor, y la diferencia entre la velocidad rotacional del segundo rotor y la velocidad rotacional del primer rotor son iguales una a otra. Esto degrada el grado de libertad de diseño del motor eléctrico.

La presente invención se ha llevado a cabo con el fin de proporcionar una solución a los problemas antes descritos, y su objeto es proporcionar un motor eléctrico que sea capaz de reducir el tamaño y sus costos de fabricación mejorando al mismo tiempo el grado de libertad de diseño del mismo.

55 **[Literatura de patentes 1]**

Publicación de Patente japonesa (Kokai) número 2008-67592.

60 **[Descripción de la invención]**

Para lograr el objeto, la invención según la reivindicación 1 proporciona un motor eléctrico 1, 31, incluyendo una primera estructura (primer rotor 4, primer eje de giro 6, segundo estator 34) incluyendo una fila de polos magnéticos, estando formada la fila de polos magnéticos por una pluralidad predeterminada de polos magnéticos (imanes permanentes 4a, 34a) dispuestos en una dirección predeterminada, y teniendo cada uno dos polos magnéticos adyacentes dispuestos de manera que tengan polaridades diferentes uno de otro, una segunda estructura (estator 3, primer estator 33) incluyendo una fila de inducidos, estando formada la fila de inducidos por una pluralidad de

inducidos (núcleo de hierro 3a, bobinas de fase U a fase W 3c a 3e, núcleo de hierro 33a, bobinas de fase U a fase W 33c a 33e) dispuestos en la dirección predeterminada, y estando dispuestos de manera opuesta a la fila de polos magnéticos, para generar campos magnéticos móviles que se mueven en la dirección predeterminada entre la fila de inducidos y la fila de polos magnéticos por una pluralidad predeterminada de polos magnéticos de inducido generados en la pluralidad de inducidos según su suministro de potencia eléctrica, y una tercera estructura (segundo rotor 5, segundo eje de giro 7, elemento móvil 35) incluyendo una fila de elementos de material magnético blando, estando formada la fila de elementos de material magnético blando por una pluralidad predeterminada de elementos magnéticos de material blando (núcleos 5a, núcleos 35b) dispuestos en la dirección predeterminada de manera espaciada uno de otro, y estando dispuestos de tal manera que la fila de elementos de material magnético blando se coloque entre la fila de polos magnéticos y la fila de inducidos, donde una relación entre un número de los polos magnéticos de inducido, un número de los polos magnéticos, y un número de los elementos magnéticos de material blando, dentro de una sección predeterminada a lo largo de la dirección predeterminada se pone a  $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1,0$ ).

Según este motor eléctrico, la fila de polos magnéticos de la primera estructura y la fila de inducidos de la segunda estructura están dispuestas de manera opuesta una a otra, y la fila de elementos de material magnético blando de la tercera estructura está dispuesta de modo que esté colocada entre la fila de polos magnéticos y la fila de inducidos. La pluralidad de polos magnéticos, inducidos, y elementos magnéticos de material blando, que forman la fila de polos magnéticos, la fila de inducidos, y la fila de elementos de material magnético blando, respectivamente, están dispuestos en la dirección predeterminada. Además, la pluralidad de polos magnéticos de inducido son generados según el suministro de potencia eléctrica a la fila de inducidos, y los campos magnéticos móviles son generados entre la fila de inducidos y la fila de polos magnéticos por los polos magnéticos de inducido, y se mueven en la dirección predeterminada. Además, cada dos polos magnéticos adyacentes tienen polaridades diferentes uno de otro, y cada dos elementos magnéticos de material blando adyacentes están espaciados uno de otro. Como se ha descrito anteriormente, entre la fila de polos magnéticos y la fila de inducidos se generan los campos magnéticos móviles por la pluralidad de polos magnéticos de inducido, y la fila de elementos de material magnético blando está dispuesta, por lo que los elementos magnéticos de material blando son magnetizados por los polos magnéticos de inducido y los polos magnéticos. A causa de esto y el hecho de que cada dos elementos magnéticos de material blando adyacentes están espaciados uno de otro, se generan líneas de fuerza magnética de una manera que conecta entre los polos magnéticos, los elementos magnéticos de material blando, y los polos magnéticos de inducido. Además, las fuerzas magnéticas producidas por las líneas de fuerza magnética actúan para convertir la potencia eléctrica suministrada a los inducidos a potencia, y la potencia sale de la primera estructura, la segunda estructura, y la tercera estructura.

En este caso, por ejemplo, cuando el motor eléctrico según la presente invención se construye en las condiciones siguientes (a) y (b), se representan la relación de velocidad entre los campos magnéticos móviles y las estructuras primera y tercera, y la relación de par entre las estructuras primera a tercera como se menciona más adelante. Además, un circuito equivalente correspondiente al motor eléctrico se expresa como se representa en la figura 19.

(a) El motor eléctrico es una máquina rotativa, y los inducidos tienen bobinas trifásicas de fase U, fase V y fase W.

(b) El número de los polos magnéticos de inducido es 2, y el número de los polos magnéticos es 4, es decir, un número par de polos, en el que un polo N y un polo S forman un par, de los polos magnéticos de inducido tiene un valor de 1, un número par de polos, en el que un polo N y un polo S forman un par, de los polos magnéticos, tiene un valor de 2, y el número de los elementos magnéticos de material blando es 3.

Se deberá indicar que como se ha descrito anteriormente, en toda la memoria descriptiva, el término "par de polos" pretende significar un par de un polo N y un polo S.

En este caso, un flujo magnético  $\psi_{k1}$  de un polo magnético que pasa a través de un primer elemento de material magnético blando de los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente (1):

$$\Psi_{k1} = \psi_f \cdot \cos [2(\theta_2 - \theta_1)] \dots \dots (1)$$

donde  $\psi_f$  representa el valor máximo del flujo magnético del polo magnético, y  $\theta_1$  y  $\theta_2$  representan una posición rotacional angular del polo magnético y una posición rotacional angular del elemento de material magnético blando, con respecto a la bobina de fase U. Además, en este caso, dado que la relación del número par de polos de los polos magnéticos al número par de polos de los polos magnéticos de inducido es 2,0, el flujo magnético del polo magnético gira (cambia) en un período de repetición el doble del período de repetición de los campos magnéticos móviles, de modo que en dicha ecuación (1), para indicar este hecho,  $(\theta_2 - \theta_1)$  se multiplica por 2,0.

Por lo tanto, un flujo magnético  $\psi_{u1}$  de un polo magnético que pasa a través de la bobina de fase U mediante el primer elemento de material magnético blando se expresa por la ecuación siguiente (2) obtenida multiplicando la ecuación (1) por  $\cos \theta_2$ .

$$\Psi_{u1} = \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 - \theta_1)] \cos \theta_2 \quad \dots\dots (2)$$

Igualmente, un flujo magnético  $\psi_{k2}$  de un polo magnético que pasa a través de un segundo elemento de material magnético blando de los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente (3):

$$\Psi_{k2} = \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} - \theta_1)] \quad \dots\dots (3)$$

La posición rotacional angular del segundo elemento de material magnético blando con respecto al inducido da lugar a la del primer elemento de material magnético blando por  $2\pi/3$ , de modo que en dicha ecuación (3), para indicar este hecho, se añade  $2\pi/3$  a  $\theta_2$ .

Por lo tanto, un flujo magnético  $\psi_{u2}$  de un polo magnético que pasa a través de la bobina de fase U mediante el segundo elemento de material magnético blando se expresa por la ecuación siguiente (4) obtenida multiplicando la ecuación (3) por  $\cos(\theta_2 + 2\pi/3)$ .

$$\Psi_{u2} = \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} - \theta_1)] \cos(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}) \quad \dots\dots (4)$$

Igualmente, un flujo magnético  $\psi_{u3}$  de un polo magnético que pasa a través de la bobina de fase U mediante un tercer elemento de material magnético blando de los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente (5):

$$\Psi_{u3} = \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 + \frac{4\pi}{3} - \theta_1)] \cos(\theta_2 + \frac{4\pi}{3}) \quad \dots\dots (5)$$

En el motor eléctrico representado en la figura 19, un flujo magnético  $\psi_u$  del polo magnético que pasa a través de la bobina de fase U mediante los elementos magnéticos de material blando se obtiene añadiendo  $\psi_{u1}$  a  $\psi_{u3}$  expresado por las ecuaciones antes descritas (2), (4) y (5), y por lo tanto el flujo magnético  $\psi_u$  se expresa por la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} \Psi_u = & \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 - \theta_1)] \cos \theta_2 + \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} - \theta_1)] \cos(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}) \\ & + \psi f \cdot \cos [2(\theta_2 + \frac{4\pi}{3} - \theta_1)] \cos(\theta_2 + \frac{4\pi}{3}) \quad \dots\dots (6) \end{aligned}$$

Además, cuando se generaliza esta ecuación (6), el flujo magnético  $\psi_u$  del polo magnético que pasa a través de la bobina de fase U mediante los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente:

$$\Psi_u = \sum_{j=1}^b \psi f \cdot \cos \{a[\theta_2 + (i-1)\frac{2\pi}{b} - \theta_1]\} \cos \{c[\theta_2 + (i-1)\frac{2\pi}{b}]\} \quad \dots\dots (7)$$

donde a, b y c representan el número par de polos de los polos magnéticos, el número de los elementos magnéticos de material blando, y el número par de polos de los polos magnéticos de inducido.

Además, cuando la ecuación anterior (7) se cambia en base a la fórmula de la suma y el producto de la función trigonométrica, se obtiene la ecuación siguiente:

$$\Psi u = \sum_{i=1}^b \frac{1}{2} \cdot \psi f \left\{ \cos \left[ (a+c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 + (a+c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] + \cos \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 + (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \right\} \dots\dots (8)$$

Cuando se ordena esta ecuación (8) estableciendo  $b = a+c$ , y  $\cos(\theta+2\pi) = \cos \theta$ , se obtiene la ecuación siguiente:

$$\Psi u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos \left[ (a+c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] + \sum_{i=1}^b \frac{1}{2} \cdot \psi f \left\{ \cos \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 + (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \right\} \dots\dots (9)$$

5 Cuando esta ecuación se ordena en base al teorema de adición de la función trigonométrica, se obtiene la ecuación siguiente:

$$\Psi u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos \left[ (a+c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] + \frac{1}{2} \cdot \psi f \cdot \cos \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] \sum_{i=1}^b \cos \left[ (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] - \frac{1}{2} \cdot \psi f \cdot \sin \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] \sum_{i=1}^b \sin \left[ (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \dots\dots (10)$$

10 Cuando el segundo término en el lado derecho de la ecuación (10) se ordena en base a la suma total de la serie y la fórmula de Euler a condición de que  $a-c \neq 0$ , el segundo término es igual a 0, como expresa la ecuación siguiente (11):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^b \cos \left[ (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] &= \sum_{i=0}^{b-1} \frac{1}{2} \left\{ e^{j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} i \right]} + e^{-j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} i \right]} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} b \right]} - 1}{e^{j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} \right]} - 1} + \frac{e^{-j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} b \right]} - 1}{e^{-j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} \right]} - 1} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j \left[ (a-c) 2\pi \right]} - 1}{e^{j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} \right]} - 1} + \frac{e^{-j \left[ (a-c) 2\pi \right]} - 1}{e^{-j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} \right]} - 1} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{0}{e^{j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} \right]} - 1} + \frac{0}{e^{-j \left[ (a-c) \frac{2\pi}{b} \right]} - 1} \right\} \\ &= 0 \dots\dots (11) \end{aligned}$$

15 Además, cuando el tercer término en el lado derecho de la ecuación antes descrita (10) se ordena en base a la suma total de la serie y la fórmula de Euler a condición de que  $a-c \neq 0$ , el tercer término también es igual a 0, como expresa la ecuación siguiente (12):

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^b \sin\left[(a-c)(i-1)\frac{2\pi}{b}\right] &= \sum_{i=0}^{b-1} \frac{1}{2} \left\{ e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}i]} - e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}i]} \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}b]} - 1}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}]} - 1} - \frac{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}b]} - 1}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}]} - 1} \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j[(a-c)2\pi]} - 1}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1} - 1} - \frac{e^{-j[(a-c)2\pi]} - 1}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1} - 1} \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{0}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1} - 1} - \frac{0}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1} - 1} \right\} \\
 &= 0 \qquad \dots\dots (12)
 \end{aligned}$$

Por lo anterior, cuando es válido  $a-c \neq 0$ , el flujo magnético  $\psi_u$  del polo magnético que pasa a través de la bobina de fase U mediante los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente (13):

5

$$\Psi_u = \frac{b}{2} \cdot \psi_f \cdot \cos[(a+c)\theta_2 - a \cdot \theta_1] \qquad \dots\dots (13)$$

Además, en esta ecuación (13), si es válido  $a/c = \alpha$ , se obtiene la ecuación siguiente (14):

$$\Psi_u = \frac{b}{2} \cdot \psi_f \cdot \cos[(\alpha+1)c \cdot \theta_2 - \alpha \cdot c \cdot \theta_1] \qquad \dots\dots (14)$$

10

Además, en esta ecuación (14), si son válidos  $c \cdot \theta_2 = \theta_{e2}$  y  $c \cdot \theta_1 = \theta_{e1}$ , se obtiene la ecuación siguiente (15):

$$\Psi_u = \frac{b}{2} \cdot \psi_f \cdot \cos[(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1}] \qquad \dots\dots (15)$$

15

En esta ecuación, como es claro por el hecho de que  $\theta_{e2}$  se obtiene multiplicando la posición rotacional angular  $\theta_2$  del elemento de material magnético blando con respecto a la bobina de fase U por el número par de polos  $c$  de los polos magnéticos de inducido,  $\theta_{e2}$  representa la posición angular eléctrica del elemento de material magnético blando con respecto a la bobina de fase U. Además, como es claro por el hecho de que  $\theta_{e1}$  se obtiene multiplicando la posición rotacional angular  $\theta_1$  del polo magnético con respecto a la bobina de fase U por el número par de polos  $c$  de los polos magnéticos de inducido,  $\theta_{e1}$  representa la posición angular eléctrica del polo magnético con respecto a la bobina de fase U.

20

Igualmente, dado que la posición angular eléctrica de la bobina de fase V conduce a la de la bobina de fase U por el ángulo eléctrico  $2\pi/3$ , el flujo magnético  $\psi_v$ , del polo magnético que pasa a través de la bobina de fase V mediante los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente (16). Además, dado que la posición angular eléctrica de la bobina de fase W conduce a la de la bobina de fase U por el ángulo eléctrico  $2\pi/3$ , el flujo magnético  $\psi_w$  del polo magnético que pasa a través de la bobina de fase W mediante los elementos magnéticos de material blando se expresa por la ecuación siguiente (17):

25

$$\Psi_v = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} - \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (16)$$

$$\Psi_w = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} + \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (17)$$

Además, cuando los flujos magnéticos  $\psi_u$  a  $\psi_w$  expresados por dichas ecuaciones (15) a (17), respectivamente, se diferencian con respecto al tiempo, se obtienen las ecuaciones siguientes (18) a (20):

5

$$\frac{d\Psi_u}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{[(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \sin [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1}]\} \quad \dots\dots (18)$$

$$\frac{d\Psi_v}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{[(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \sin [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} - \frac{2\pi}{3}]\} \quad \dots\dots (19)$$

$$\frac{d\Psi_w}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{[(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \sin [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} + \frac{2\pi}{3}]\} \quad \dots\dots (20)$$

donde  $\omega_{e1}$  denota un valor obtenido diferenciando  $\theta_{e1}$  con respecto al tiempo, es decir, un valor obtenido convirtiendo la velocidad angular de la primera estructura con respecto a la segunda estructura a una velocidad angular eléctrica, y  $\omega_{e2}$  denota un valor obtenido diferenciando  $\theta_{e2}$  con respecto al tiempo, es decir, un valor obtenido convirtiendo la velocidad angular de la tercera estructura con respecto a la segunda estructura a una velocidad angular eléctrica.

10

Además, los flujos magnéticos que pasan directamente a través de las bobinas de fase U a fase W sin hacerlo mediante los elementos magnéticos de material blando son muy pequeños, y por lo tanto su influencia es despreciable. Por lo tanto,  $d\psi_u/dt$  a  $d\psi_w/dt$ , que son valores obtenidos diferenciando, con respecto al tiempo, los flujos magnéticos  $\psi_u$  a  $\psi_w$  (ecuaciones (18) a (20)) de los polos magnéticos, que pasan a través de las bobinas de fase U a fase W mediante los elementos magnéticos de material blando, respectivamente, representan voltajes de fuerza contraelectromotriz (voltajes electromotrices inducidos), que se generan en las bobinas de fase U a fase W como los polos magnéticos y los elementos magnéticos de material blando giran (se mueven) con respecto a la fila de inducidos.

15

20

Por lo anterior, las corrientes eléctricas  $I_u$ ,  $I_v$  y  $I_w$ , que fluyen a través de las bobinas de fase U, fase V y fase W, respectivamente, se expresan con las ecuaciones siguientes (21), (22) y (23):

$$I_u = I \cdot \sin [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1}] \quad \dots\dots (21)$$

$$I_v = I \cdot \sin [(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} - \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (22)$$

25

$$I_w = I \cdot \sin \left[ (\alpha + 1) \theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} + \frac{2\pi}{3} \right] \dots\dots (23)$$

donde I representa la amplitud (valor máximo) de cada corriente eléctrica que fluye a través de las bobinas de fase U a fase W.

5 Además, por las ecuaciones anteriores (21) a (23), la posición angular eléctrica  $\theta_{mf}$  del vector de un campo magnético móvil (campo magnético rotativo) con respecto a la bobina de fase U se expresa por la ecuación siguiente (24), y la velocidad angular eléctrica  $\omega_{mf}$  del campo magnético móvil con respecto a la bobina de fase U se expresa por la ecuación siguiente (25):

$$\theta_{mf} = (\alpha + 1) \theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} \dots\dots (24)$$

$$\omega_{mf} = (\alpha + 1) \omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1} \dots\dots (25)$$

15 Además, en un caso donde la fila de inducidos así como la segunda estructura están configuradas de manera que sean inmóviles, se muestra la salida mecánica (potencia) W, que es enviada a las estructuras primera y tercera por el flujo de las corrientes  $I_u$  a  $I_w$  a través de las bobinas de fase U a fase W, a condición de que se excluya una porción relacionada con reluctancia, por la ecuación siguiente (26):

$$W = \frac{d\Psi_u}{dt} \cdot I_u + \frac{d\Psi_v}{dt} \cdot I_v + \frac{d\Psi_w}{dt} \cdot I_w \dots\dots (26)$$

20 cuando las ecuaciones (18) a (23) son sustituidas en esta ecuación (26) para ordenación, se obtiene la ecuación siguiente (27):

$$W = -\frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi_f \cdot I [(\alpha + 1) \omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \dots\dots (27)$$

25 Además, la relación entre esta salida mecánica W, el par T1 transmitido a la primera estructura mediante los polos magnéticos (denominado a continuación "el primer par T1"), el par T2 transmitido a la tercera estructura mediante los elementos magnéticos de material blando (denominado a continuación "el segundo par T2"), la velocidad angular eléctrica  $\omega_{e1}$  de la primera estructura, y la velocidad angular eléctrica  $\omega_{e2}$  de la tercera estructura se expresa por la ecuación siguiente (28):

$$W = T1 \cdot \omega_{e1} + T2 \cdot \omega_{e2} \dots\dots (28)$$

30 como es claro por las ecuaciones anteriores (27) y (28), los pares primero y segundo T1 y T2 se expresan con las ecuaciones siguientes (29) y (30):

$$T1 = \alpha \cdot \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi_f \cdot I \dots\dots (29)$$

$$T2 = -(\alpha + 1) \cdot \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi_f \cdot I \dots\dots (30)$$

35 Además, cuando el par equivalente a la potencia eléctrica suministrada a la fila de inducidos y la velocidad angular eléctrica  $\omega_{mf}$  del campo magnético móvil se define como par equivalente de accionamiento Te, dado que la potencia eléctrica suministrada a la fila de inducidos y la salida mecánica W son iguales entre sí (a condición de que se

ignoren las pérdidas), por la ecuación (28), el par equivalente de accionamiento  $T_e$  se expresa por la ecuación siguiente (31):

$$T_e = \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi f \cdot I \quad \dots \dots (31)$$

5 Además, usando las ecuaciones anteriores (29) a (31), se obtiene la ecuación siguiente (32):

$$T_e = \frac{T_1}{\alpha} = \frac{-T_2}{(\alpha+1)} \quad \dots \dots (32)$$

10 La relación entre los pares, expresada por la ecuación (32), y la relación entre las velocidades angulares eléctricas, expresada por dicha ecuación (25), son las mismas que la relación entre las velocidades rotacionales y la relación entre los pares en el engranaje solar, el engranaje anular y el soporte de una unidad de engranajes planetarios. Además, tal relación entre las velocidades angulares eléctricas y la relación entre los pares son válidas no solamente en el caso antes descrito donde la segunda estructura está configurada de manera que sea inmóvil, sino también en todas las condiciones con relación a movilidades de las estructuras primera a tercera. Por ejemplo, las relaciones anteriores también son válidas cuando la segunda estructura no está configurada de manera que sea inmóvil y se suministra potencia eléctrica en un estado donde la potencia es introducida en la segunda estructura, cuando la estructura primera o tercera está configurada de manera que sea inmóvil además de la segunda estructura, y cuando se suministra potencia eléctrica a la fila de inducidos en un estado donde la potencia es introducida en la estructura primera o tercera. Además, estas relaciones también son válidas cuando la segunda estructura está configurada de manera que sea móvil, y al mismo tiempo la(s) estructura(s) primera y/o tercera está(n) configurada(s) de manera que sean inmóviles o cuando se suministra potencia eléctrica en un estado donde la potencia es introducida en la(s) estructura(s) primera y/o tercera.

25 Además, como se ha descrito anteriormente, a condición de que  $b = a + c$  y  $a - c \neq 0$  sean válidos, la relación entre las velocidades angulares eléctricas, expresada por la ecuación (25), y la relación entre los pares, expresada por la ecuación (32), son válidas. La condición anterior  $b = a + c$  se expresa por  $b = (p+q)/2$ , es decir,  $b/q = (1+p/q)/2$ , suponiendo que el número de los polos magnéticos es  $p$  y el de los polos magnéticos de inducido es  $q$ . Aquí, como es claro por el hecho de que si  $p/q = m$  es válido, se obtiene  $b/q = (1+m)/2$ , el cumplimiento de la condición anterior de  $b = a + c$  representa que la relación entre el número de los polos magnéticos de inducido, el número de los polos magnéticos, y el número de los elementos magnéticos de material blando es  $1 : m : (1+m)/2$ . Además, el cumplimiento de la condición anterior de  $a - c \neq 0$  representa que  $m = 1,0$  es válido. Según el motor eléctrico de la presente invención, en la sección predeterminada en la dirección predeterminada, la relación entre el número de los polos magnéticos de inducido, el número de los polos magnéticos, y el número de los elementos magnéticos de material blando se pone a  $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1,0$ ), y por lo tanto la relación entre las velocidades angulares eléctricas, expresada por la ecuación (25), y la relación entre los pares, expresada por la ecuación (32), son válidas, por lo que se entiende que el motor eléctrico opera adecuadamente.

40 Además, de forma diferente a dicho caso convencional, el motor eléctrico puede ser operado por la única fila de elementos de material magnético blando solo, y por lo tanto es posible reducir el tamaño y los costos de fabricación del motor eléctrico. Además, como es claro por las ecuaciones (25) y (32), estableciendo  $\alpha = a/c$ , es decir, la relación del número par de polos de los polos magnéticos al número par de polos de los polos magnéticos de inducido, es posible establecer libremente la relación entre las velocidades angulares eléctricas de los campos magnéticos móviles y las estructuras segunda y tercera, y la relación entre los pares de las estructuras primera a tercera, y por lo tanto es posible mejorar el grado de libertad de diseño del motor eléctrico. También se pueden obtener los mismos efectos ventajosos cuando el número de fases de las bobinas de la pluralidad de inducidos es distinto de dicho 3, y también cuando el motor eléctrico no es la máquina rotativa sino un motor lineal. Se ha de entender que cuando el motor eléctrico es un motor lineal, la relación no entre los "pares", sino entre los "empujes" se puede establecer libremente.

50 La invención según la reivindicación 2 es el motor eléctrico 1, 31 según la reivindicación 1, incluyendo además medios detectores de relación posicional relativa (primer sensor de posición rotacional 21, segundo sensor de posición rotacional 22, convertidor de ángulo eléctrico 16b, sensor de posición 41) para detectar una relación posicional relativa entre las estructuras primera a tercera, y medios de control (UEC 16) para controlar los campos magnéticos móviles en base a la relación posicional relativa detectada entre las estructuras primera a tercera.

55 Con esta disposición, los medios detectores de relación posicional relativa detectan la relación posicional relativa entre las estructuras primera a tercera, y los medios de control controlan los campos magnéticos móviles en base a la relación posicional relativa detectada entre las estructuras primera a tercera. Esto hace posible generar adecuadamente líneas de fuerza magnética entre los polos magnéticos, los elementos magnéticos de material blando, y los polos magnéticos de inducido, para hacer por ello que actúen fuerzas magnéticas por las líneas de

fuerza magnética. Por lo tanto, es posible asegurar la operación apropiada del motor eléctrico.

La invención según la reivindicación 3 es el motor eléctrico 1, 31 según la reivindicación 2, donde los medios detectores de relación posicional relativa (primer sensor de posición rotacional 21, segundo sensor de posición rotacional 22, convertidor de ángulo eléctrico 16b) detectan posiciones angulares eléctricas de la primera estructura y la tercera estructura con respecto a la segunda estructura, respectivamente, como la relación posicional relativa entre las estructuras primera a tercera, y donde los medios de control controlan los campos magnéticos móviles en base a una diferencia entre un valor obtenido multiplicando la posición angular eléctrica detectada (ángulo eléctrico de segundo rotor  $\theta_{ER2}$ ) de la tercera estructura por  $(1+m)$ , y un valor obtenido multiplicando la posición angular eléctrica detectada (ángulo eléctrico de primer rotor  $\theta_{ER1}$ ) de la primera estructura por  $m$ .

Con esta disposición, los campos magnéticos móviles son controlados en base a la diferencia entre el valor obtenido multiplicando la posición angular eléctrica detectada de la tercera estructura con respecto a la segunda estructura por  $(1+m)$ , y el valor obtenido multiplicando la posición angular eléctrica detectada de la primera estructura con respecto a la segunda estructura por  $m$ . Como es claro por la reivindicación 1,  $m$  representa la relación del número de los polos magnéticos al número de los polos magnéticos de inducido. Además, como se ha descrito anteriormente en cuanto a la operación de la reivindicación 1, cuando el motor eléctrico está funcionando, la relación entre la posición angular eléctrica de los campos magnéticos móviles y las posiciones angulares eléctricas de las estructuras segunda y tercera se expresa por la ecuación (24). En la ecuación (24),  $\alpha$  representa la relación ( $a/c$ ) del número par de polos de los polos magnéticos al número par de polos de los polos magnéticos de inducido, es decir, la relación del número de los polos magnéticos al número de los polos magnéticos de inducido, que es igual a  $m$ . Por lo tanto, con la disposición antes descrita, es posible asegurar una operación más apropiada del motor eléctrico.

La invención según la reivindicación 4 es el motor eléctrico 1, 31 según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde los polos magnéticos son polos magnéticos de imanes permanentes 4a, 34a.

Con esta disposición, los polos magnéticos de los imanes permanentes se usan como polos magnéticos, y por lo tanto de forma diferente al caso donde se usan los polos magnéticos de electroimanes, es posible prescindir de circuitos eléctricos y bobinas para suministrar potencia eléctrica a los electroimanes. Esto hace posible reducir más el tamaño del motor eléctrico simplificando su construcción. Además, por ejemplo, cuando la primera estructura que tiene polos magnéticos está configurada de modo que sea rotativa, es posible prescindir de un aro de deslizamiento para suministrar potencia eléctrica a los electroimanes cuando los polos magnéticos de los electroimanes se usan como los polos magnéticos, haciendo por ello posible reducir el tamaño el motor eléctrico y aumentar su eficiencia.

La invención según la reivindicación 5 es el motor eléctrico 1 según la reivindicación 1, donde el motor eléctrico es una máquina rotativa.

Con esta disposición, es posible obtener los efectos ventajosos descritos con relación a la reivindicación 1, para una máquina rotativa.

La invención según la reivindicación 6 es el motor eléctrico 31 según la reivindicación 1, donde el motor eléctrico es un motor lineal.

Con esta disposición, es posible obtener los efectos ventajosos descritos con relación a la reivindicación 1, para un motor lineal.

#### **[Breve descripción de los dibujos]**

[Figura 1] Una vista esquemática en sección transversal de un motor eléctrico según una primera realización de la presente invención.

[Figura 2] Un diagrama de bloques que representa el motor eléctrico en la figura 1 y una UEC.

[Figura 3] Una vista esquemática de desarrollo que representa el estator y los rotores primero y segundo del motor eléctrico en la figura 1, en un estado desarrollado en la dirección circunferencial.

[Figura 4] Un gráfico colineal que ilustra un ejemplo de la relación entre una velocidad angular eléctrica de campo magnético, y las velocidades angulares eléctricas de los rotores primero y segundo del motor eléctrico en la figura 1.

[Figura 5] Un diagrama que ilustra la operación del motor eléctrico de la figura 1 en un caso donde se suministra potencia eléctrica al estator en un estado de fijación del primer rotor.

[Figura 6] Un diagrama que ilustra una continuación de la operación de la figura 5.

[Figura 7] Un diagrama que ilustra una continuación de la operación de la figura 6.

[Figura 8] Un diagrama que ilustra la relación posicional entre polos magnéticos de inducido y núcleos en un caso donde los polos magnéticos de inducido giran un ángulo eléctrico de  $2n$  a partir del estado representado en la figura 5.

5 [Figura 9] Un diagrama que ilustra la operación del motor eléctrico en la figura 1 en un caso donde se suministra potencia eléctrica al estator en un estado de fijación del segundo rotor.

[Figura 10] Un diagrama que ilustra una continuación de la operación de la figura 9.

10 [Figura 11] Un diagrama que ilustra una continuación de la operación de la figura 10.

[Figura 12] Un diagrama que ilustra un ejemplo de cambios en los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W en un caso donde el primer rotor del motor eléctrico según la presente invención está fijado.

15 [Figura 13] Un diagrama que ilustra un ejemplo de los cambios en un par equivalente de accionamiento, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo en el caso donde el primer rotor del motor eléctrico según la presente invención está fijado.

20 [Figura 14] Un diagrama que ilustra un ejemplo de los cambios en los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W en el caso donde el segundo rotor del motor eléctrico según la presente invención está fijado.

[Figura 15] Un diagrama que ilustra un ejemplo de los cambios en el par equivalente de accionamiento, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo en el caso donde el segundo rotor del motor eléctrico según la presente invención está fijado.

25 [Figura 16] Una vista frontal esquemática de un motor eléctrico según una segunda realización de la presente invención y partes asociadas.

[Figura 17] Una vista esquemática en planta que representa parte del motor eléctrico en la figura 16.

30 [Figura 18] Un diagrama que ilustra la relación entre los números de los polos magnéticos de inducido, los núcleos, y los polos magnéticos del motor eléctrico en la figura 16.

35 [Figura 19] Un diagrama que representa un circuito equivalente del motor eléctrico según la presente invención.

**[Mejor modo de llevar a la práctica la invención]**

La presente invención se describirá ahora en detalle con referencia a los dibujos que representan su realización preferida. La figura 1 representa un motor eléctrico 1 según una primera realización de la presente invención. El motor eléctrico 1 está configurado de manera que sea una máquina rotativa, cuyas operaciones son controladas por una UEC 16 representada en la figura 2. Con referencia a la figura 1, el motor eléctrico 1 está compuesto por un cárter inmóvil 2, un estator 3 dispuesto dentro del cárter 2, un primer rotor 4 dispuesto dentro del cárter 2 de manera opuesta al estator 3, un segundo rotor 5 dispuesto entre los dos 3 y 4, un primer eje de giro 6 y un segundo eje de giro 7. Se deberá indicar que, en la figura 1, algunos elementos, tales como el primer eje de giro 6 y análogos, se ilustran a modo de diagrama esquemático por razones de conveniencia de la ilustración. Además, en la figura 1 y otras figuras, a las que se hace referencia a continuación, se omite el sombreado en porciones que ilustran secciones transversales.

50 El cárter 2 incluye una pared cilíndrica periférica hueca 2a y un par de paredes laterales en forma de disco 2b y 2c dispuestas en extremos opuestos de la pared periférica 2a, que están formadas integralmente una con otra. Las paredes laterales 2b y 2c tienen agujeros de montaje 2d y 2e en sus respectivos centros, y cojinetes 8 y 9 están montados en los agujeros de montaje 2d y 2e, respectivamente.

55 Los ejes rotativos primero y segundo 6 y 7 antes descritos son soportados rotativamente por los cojinetes 8 y 9, respectivamente, y están dispuestos concéntricamente uno con otro. Además, los ejes rotativos primero y segundo 6 y 7 tienen una porción de los mismos alojada en el cárter 2, y el resto extendiéndose hacia fuera del cárter 2. Además, dicho estator 3, segundo rotor 3 y primer rotor 4 están dispuestos concéntricamente uno con otro en la dirección de radio del primer eje de giro 6 (a continuación se denomina simplemente "en la dirección radial o radialmente") desde fuera en el orden indicado.

60 El estator 3 tiene la finalidad de generar campos magnéticos rotativos y, como se representa en la figura 3, incluye un núcleo de hierro 3a, y bobinas de fase U, fase V y fase W 3c, 3d y 3e dispuestas en el núcleo de hierro 3a. Se deberá indicar que en la figura 1, solamente la bobina de fase U 3c se representa por razones de conveniencia. El núcleo de hierro 3a, que tiene una forma cilíndrica hueca formada laminando una pluralidad de chapas de acero, se extiende en la dirección de eje del primer eje de giro 6 (a continuación denominado simplemente "en la dirección axial" o "axialmente"), y está montado en la superficie periférica interior de la pared periférica 2a del cárter 2.

65

Además, la superficie periférica interior del núcleo de hierro 3a está formada con doce ranuras 3b. Las ranuras 3b se extienden en la dirección axial, y están dispuestas a intervalos igualmente espaciados en la dirección circunferencial del primer eje de giro 6 (a continuación denominado simplemente "en la dirección circunferencial" o "circunferencialmente"). Las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e están enrolladas en las ranuras 3b por devanado distribuido (devanado de onda), y están conectadas a un suministro de potencia variable 15 (véase la figura 2). El suministro de potencia variable 15 es una combinación de un circuito eléctrico compuesto de un inversor, y una batería, y está conectado a la UEC 16.

En el estator 3 configurado como antes, cuando se suministra potencia eléctrica desde el suministro de potencia variable 15, se generan cuatro polos magnéticos en un extremo del núcleo de hierro 3a hacia el primer rotor 4 a intervalos igualmente espaciados en la dirección circunferencial (véase la figura 5), y los campos magnéticos rotativos producidos por los polos magnéticos giran en la dirección circunferencial. A continuación, los polos magnéticos generados en el núcleo de hierro 3a se denominan "los polos magnéticos de inducido". Además, cada dos polos magnéticos de inducido que son circunferencialmente adyacentes uno a otro tienen polaridades diferentes uno de otro. Se deberá indicar que en la figura 5 y otras figuras, a las que se hace referencia a continuación, los polos magnéticos de inducido se representan por (N) y (S) sobre el núcleo de hierro 3a y las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e.

Como se representa en la figura 3, el primer rotor 4 incluye una fila de polos magnéticos compuesta de ocho imanes permanentes 4a. Estos imanes permanentes 4a están dispuestos a intervalos igualmente espaciados en la dirección circunferencial, y la fila de polos magnéticos está enfrente del núcleo de hierro 3a. Cada imán permanente 4a se extiende en la dirección axial, y su longitud en la dirección axial se pone a la misma longitud que la del núcleo de hierro 3a del estator 3.

Además, los imanes permanentes 4a están montados en una superficie periférica exterior de una porción anular de fijación 4b. Esta porción anular de fijación 4b se forma laminando elementos magnéticos de material blando, tal como hierro o una pluralidad de chapas de acero, y tiene su superficie periférica interior montada en la superficie periférica exterior de una pestaña en forma de disco 4c formada de forma integralmente concéntrica con el primer eje de giro 6. Así, el primer rotor 4 incluyendo los imanes permanentes 4a es rotativo al unísono con el primer eje de giro 6. Además, los imanes permanentes 4a están montados en la superficie periférica exterior de la porción anular de fijación 4b formada por los elementos magnéticos de material blando, como se ha descrito anteriormente, y por lo tanto un polo magnético de (N) o (S) aparece en un extremo de cada imán permanente 4a hacia el estator 3. Se deberá indicar que en la figura 3 y otras figuras, a las que se hace referencia a continuación, los polos magnéticos de los imanes permanentes 4a se denotan con (N) y (S). Además, cada dos imanes permanentes 4a circunferencialmente adyacentes uno a otro tienen polaridades diferentes uno de otro.

El segundo rotor 5 incluye una fila de elementos de material magnético blando compuesta de seis núcleos 5a. Estos núcleos 5a están dispuestos a intervalos igualmente espaciados en la dirección circunferencial, y la fila de elementos de material magnético blando está dispuesta entre el núcleo de hierro 3a del estator 3 y el primer rotor 4 a intervalos espaciados predeterminados. Cada núcleo 5a se forma laminando elementos magnéticos de material blando, tal como una pluralidad de chapas de acero, y se extiende en la dirección axial. Además, al igual que el imán permanente 4a, la longitud del núcleo 5a en la dirección axial se pone a la misma longitud que la del núcleo de hierro 3a del estator 3. Además, el núcleo 5a está montado en un extremo exterior de una pestaña en forma de disco 5b por una porción de conexión cilíndrica hueca 5c que se extiende ligeramente en la dirección axial. Esta pestaña 5b está formada de forma integralmente concéntrica con el segundo eje de giro 7. Esta disposición hace que el segundo rotor 5, incluyendo los núcleos 5a, sea rotativo al unísono con el segundo eje de giro 7. Se deberá indicar que en la figura 3, la porción de conexión 5c y la pestaña 5b se omiten por razones de conveniencia.

Además, como se representa en la figura 2, el motor eléctrico 1 está provisto de un primer sensor de posición rotacional 21 y un segundo sensor de posición rotacional 22, cada uno de un tipo de inducción electromagnética. El primer sensor de posición rotacional 21 detecta la posición de ángulo rotacional de un imán permanente específico 4a del primer rotor 4 (denominado a continuación "el ángulo rotacional de primer rotor  $\theta R1$ ") con respecto a una bobina de fase U específica 3c del estator 3 (denominada a continuación "la bobina de referencia"), y suministra una señal indicativa del ángulo rotacional de primer rotor detectado  $\theta R1$  a la UEC 16. El segundo sensor de posición rotacional 22 antes descrito detecta la posición de ángulo rotacional de un núcleo específico 5a del segundo rotor 5 con respecto a la bobina de referencia (denominado a continuación "el ángulo rotacional de segundo rotor  $\theta R2$ "), y suministra una señal indicativa del ángulo rotacional de segundo rotor detectado  $\theta 2$  detectado a la UEC 16.

Además, el motor eléctrico 1 está provisto de un primer sensor de corriente 23 y un segundo sensor de corriente 24. Los sensores de corriente primero y segundo 23 y 24 detectan corrientes que fluyen a través de las respectivas bobinas de fase U y fase V 3c y 3d (denominadas a continuación "la corriente de fase U lu" y "la corriente de fase V lv"), y envían señales indicativas de la corriente de fase U lu y la corriente de fase V lv detectadas a la UEC 16, respectivamente.

La UEC 16 se implementa mediante un microordenador compuesto de una interfaz E/S, una CPU, una RAM y una ROM, y controla la operación del motor eléctrico 1 en base a las señales de detección de dichos sensores 21 a 24.

Se deberá indicar que, en la presente realización, los imanes permanentes 4a corresponden a los polos magnéticos en la presente invención, y el primer rotor 4 y el primer eje de giro 6 corresponden a una primera estructura en la presente invención. Además, el núcleo de hierro 3a y las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e corresponden a inducidos en la presente invención, y el estator 3 corresponde a una segunda estructura en la presente invención. Además, los núcleos 5a corresponden a los elementos magnéticos de material blando en la presente invención, y el segundo rotor 5 y el segundo eje de giro 7 corresponden a una tercera estructura en la presente invención. Además, la UEC 16 corresponde a medios de control en la presente invención, y los sensores de posición rotacional primero y segundo 21 y 22 corresponden a medios detectores de relación posicional relativa en la presente invención.

Como se ha descrito anteriormente, el motor eléctrico 1 incluye cuatro polos magnéticos de inducido, ocho polos magnéticos de los imanes permanentes 4a (denominados a continuación "los polos magnéticos de imán") y seis núcleos 5a. Es decir, la relación entre el número de los polos magnéticos de inducido, el número de los polos magnéticos de imán, y el número de los núcleos 5a (denominado a continuación "la relación de número de polos") se pone a 1 : 2,0: (1+2,0)/2. Como es claro por este parámetro y dichas ecuaciones (18) a (20), los voltajes de fuerza contraelectromotriz, que son generados por las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e cuando el primer rotor 4 y el segundo rotor 5 giran con respecto al estator 3 (denominados a continuación "el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase U Vcu", "el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase V Vcv" y "el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase W Vcw", respectivamente), se expresan con las ecuaciones (33), (34) y (35) siguientes.

$$V_{cu} = -3 \cdot \psi F [ (3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1}) \sin (3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) ] \quad \dots \quad (33)$$

$$V_{cv} = -3 \cdot \psi F [ (3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1}) \sin (3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2\pi}{3}) ] \quad \dots \quad (34)$$

$$V_{cw} = -3 \cdot \psi F [ (3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1}) \sin (3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2\pi}{3}) ] \quad \dots \quad (35)$$

En estas ecuaciones, I representa la amplitud (valor máximo) de la corriente que fluye a través de las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e, y  $\psi F$  representa el valor máximo de flujos magnéticos de los polos magnéticos de imán.  $\theta_{ER1}$  representa un valor obtenido convirtiendo el ángulo rotacional de primer rotor  $\theta R1$  como el denominado ángulo mecánico a una posición angular eléctrica (denominada a continuación "el ángulo eléctrico de primer rotor), es decir, un valor obtenido multiplicando el ángulo rotacional de primer rotor  $\theta R1$  por un número par de polos de los polos magnéticos de inducido, es decir un valor de 2.  $\theta_{ER2}$  representa un valor obtenido convirtiendo el ángulo rotacional de segundo rotor  $\theta R2$  como un ángulo mecánico a una posición angular eléctrica (denominada a continuación "el ángulo eléctrico de segundo rotor), más específicamente, un valor obtenido multiplicando el ángulo rotacional de segundo rotor  $\theta R2$  por un número par de polos (valor de 2) de los polos magnéticos de inducido. Además,  $\omega_{ER1}$  representa un valor obtenido diferenciando  $\theta_{ER1}$  con respecto al tiempo, es decir un valor obtenido convirtiendo una velocidad angular del primer rotor 4 con respecto al estator 3 a una velocidad angular eléctrica (denominada a continuación "la velocidad angular eléctrica de primer rotor"). Además,  $\omega_{ER2}$  representa un valor obtenido diferenciando  $\theta_{ER2}$  con respecto al tiempo, es decir un valor obtenido convirtiendo una velocidad angular del segundo rotor 5 con respecto al estator 3 a una velocidad angular eléctrica (denominada a continuación "la velocidad angular eléctrica de segundo rotor").

Además, como es claro por la relación de número de polos antes descrita y dichas ecuaciones (21) a (23), la corriente de fase U Iu, la corriente de fase V Iv y la corriente (denominado a continuación "la corriente de fase W Iw") que fluyen a través de la bobina de fase W 3e se expresen con las ecuaciones (36), (37) y (38) siguientes, respectivamente.

$$I_u = I \cdot \sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) \quad \dots \quad (36)$$

$$I_v = I \cdot \sin\left(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2\pi}{3}\right) \quad \dots \quad (37)$$

$$I_w = I \cdot \sin\left(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2\pi}{3}\right) \quad \dots \quad (38)$$

Además, como es claro por la relación de número de polos antes descrita y dichas ecuaciones (24) y (25), la posición angular eléctrica de un vector de los campos magnéticos rotativos del estator 3 con respecto a la bobina de referencia (denominada a continuación "la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFR}$ ") se expresa por la ecuación siguiente (39), y la velocidad angular eléctrica de los campos magnéticos rotativos con respecto al estator 3 (denominada a continuación "la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$ ") se expresa con la ecuación siguiente (40):

$$\theta_{MFR} = 3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} \quad \dots \quad (39)$$

$$\omega_{MFR} = 3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1} \quad \dots \quad (40)$$

Por lo tanto, cuando la relación entre la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$ , la velocidad angular eléctrica de primer rotor  $\omega_{ER1}$ , y la velocidad angular eléctrica de segundo rotor  $\omega_{ER2}$  se expresa por el denominado gráfico colineal, se puede representar como en la figura 4, por ejemplo.

Además, suponiendo que el par equivalente a la potencia eléctrica suministrada al estator 3 y la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$  sea un par equivalente de accionamiento TSE, como es claro por la relación de número de polos antes descrita y dicha ecuación (32), la relación entre el par equivalente de accionamiento TSE, el par TR1 transmitido al primer rotor 4 (denominado a continuación "el par de transmisión de primer rotor TR1"), y el par TR2 transmitido al segundo rotor 5 (denominado a continuación "el par de transmisión de segundo rotor TR2") se expresa por la ecuación siguiente (41):

$$TSE = \frac{TR1}{2} = -\frac{TR2}{3} \quad \dots \quad (41)$$

La relación de la velocidad angular eléctrica expresada por la ecuación (40), y la relación entre los pares expresada por la ecuación (41) son las mismas que la relación entre la velocidad rotacional del engranaje solar, la del engranaje anular, y la del soporte de una unidad de engranajes planetarios que tiene una relación de engranaje entre el engranaje solar y el engranaje anular puesta a 1 : 2, y la relación entre sus pares.

La UEC 16 controla la energización de las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e en base a dicha ecuación (39) para controlar por ello los campos magnéticos rotativos. Más específicamente, como se representa en la figura 2, la UEC 16 incluye una sección de cálculo de corriente deseada 16a, un convertidor de ángulo eléctrico 16b, un convertidor de coordenadas de corriente 16c, una sección de cálculo de diferencia 16d, un controlador de corriente 16e, y un convertidor de coordenadas de voltaje 16f, y controla las corrientes  $I_u$ ,  $I_v$ , y  $I_w$  de la fase U a la fase W por el denominado control vectorial, para controlar por ello los campos magnéticos rotativos. Se deberá indicar que, en la presente realización, el convertidor de ángulo eléctrico 16b corresponde a medios detectores de relación posicional relativa.

La sección de cálculo de corriente deseada 16a calcula respectivos valores deseados de la corriente de eje d  $I_d$  y la corriente de eje q  $I_q$  (denominadas a continuación "la corriente de eje d deseada  $I_{d\_tar}$ " y "la corriente de eje q deseada  $I_{q\_tar}$ "), a las que se hace referencia a continuación, y suministra la corriente de eje d deseada  $I_d$  y la corriente de eje q deseada  $I_q$  calculadas a la sección de cálculo de diferencia 16d. Se deberá indicar que esta corriente de eje d deseada  $I_{d\_tar}$  y corriente de eje q deseada  $I_{q\_tar}$  se calculan, por ejemplo, según la carga impuesta al motor eléctrico 1.

5 Los ángulos rotacionales de rotor primero y segundo  $\theta_{R1}$  y  $\theta_{R2}$  detectados por los sensores de posición rotacional primero y segundo 21 y 22 son introducidos en el convertidor de ángulo eléctrico 16b. El convertidor de ángulo eléctrico 16b calcula los ángulos eléctricos de rotor primero y segundo  $\theta_{ER1}$  y  $\theta_{ER2}$  multiplicando los ángulos rotacionales de rotor primero y segundo  $\theta_{R1}$  y  $\theta_{R2}$  introducidos por el número par de polos (valor de 2) del polo magnético de inducido, y suministra los ángulos eléctricos de rotor primero y segundo  $\theta_{ER1}$  y  $\theta_{ER2}$  calculados al convertidor de coordenadas de corriente 16c y el convertidor de coordenadas de voltaje 16f.

10 Además de los ángulos eléctricos de rotor primero y segundo  $\theta_{ER1}$  y  $\theta_{ER2}$ , las corrientes de fase U y fase V  $I_u$  y  $I_v$  detectadas por los sensores de corriente primero y segundo 23 y 24, respectivamente, son introducidas en el convertidor de coordenadas de corriente 16c. El convertidor de coordenadas de corriente 16c convierte las corrientes de fase U a fase W  $I_u$  a  $I_w$  presentes en un sistema de coordenadas CA trifásico a la corriente de eje d  $I_d$  y la corriente de eje q  $I_q$  en un sistema de coordenadas dq, en base a las corrientes de fase U y fase V  $I_u$  e  $I_v$  introducidas, y los ángulos eléctricos de rotor primero y segundo  $\theta_{e1}$  y  $\theta_{e2}$ . El sistema de coordenadas dq gira a  $(3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1})$  (well), con  $(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1})$  como el eje d, y un eje ortogonal al eje d como el eje q. Más específicamente, la corriente de eje d  $I_d$  y la corriente de eje q  $I_q$  se calculan con la ecuación siguiente (42):

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) & \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3} \pi) & \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3} \pi) \\ -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3} \pi) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3} \pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix} \dots\dots (42)$$

20 Además, el convertidor de coordenadas de corriente 16c suministra la corriente de eje d  $I_d$  y la corriente de eje q  $I_q$  calculadas a la sección de cálculo de diferencia 16d.

25 La sección de cálculo de diferencia 16d calcula la diferencia entre la corriente de eje d deseada  $I_{d\_tar}$  introducida y la corriente de eje d  $I_d$  (denominada a continuación la diferencia de corriente de eje d  $dI_d$ ), y calcula la diferencia entre la corriente de eje q deseada  $I_{q\_tar}$  introducida y la corriente de eje q  $I_q$  (denominada a continuación la diferencia de corriente de eje q  $dI_q$ ). Además, la sección de cálculo de diferencia 16d suministra la diferencia de corriente de eje d  $dI_d$  y la diferencia de corriente de eje q  $dI_q$  calculadas al controlador de corriente 16e.

30 El controlador de corriente 16e calcula un voltaje de eje d  $V_d$  y un voltaje de eje q  $V_q$  en base a la diferencia de corriente de eje d  $dI_d$  y la diferencia de corriente de eje q  $dI_q$  introducidas con un algoritmo de control de realimentación predeterminado, por ejemplo un algoritmo de control PI. Esto hace que el voltaje de eje d  $V_d$  sea calculado de tal manera que la corriente de eje d  $I_d$  sea igual a la corriente de eje d deseada  $I_{d\_tar}$ , y que el voltaje de eje q  $V_q$  sea calculado de tal manera que la corriente de eje q  $I_q$  sea igual a la corriente de eje q deseada  $I_{q\_tar}$ . Además, el controlador de corriente 16e suministra los voltajes de eje d y q  $V_d$  y  $V_q$  calculados al convertidor de coordenadas de voltaje 16f.

40 El convertidor de coordenadas de voltaje 16f convierte el voltaje de eje d  $V_d$  y el voltaje de eje q  $V_q$  introducidos en valores de orden de los voltajes de fase U a fase W  $V_u$ ,  $V_v$ , y  $V_w$  en el sistema de coordenadas CA trifásico (denominado a continuación el valor de orden de voltaje de fase U  $V_{u\_cmd}$ ", el valor de orden de voltaje de fase V  $V_{v\_cmd}$ ", y el valor de orden de voltaje de fase W  $V_{w\_cmd}$ ") en base a los ángulos eléctricos de rotor primero y segundo  $\theta_{ER1}$  y  $\theta_{ER2}$  introducidos. Más específicamente, los valores de orden de voltaje de fase U a fase W  $V_{u\_cmd}$  a  $V_{w\_cmd}$  se calculan con la ecuación siguiente (43):

$$\begin{bmatrix} V_{u\_cmd} \\ V_{v\_cmd} \\ V_{w\_cmd} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) \\ \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3} \pi) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3} \pi) \\ \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3} \pi) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3} \pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \dots\dots (43)$$

Además, el convertidor de coordenadas de voltaje 16f suministra los valores de orden de voltaje de fase U a fase W  $V_{u\_cmd}$  a  $V_{w\_cmd}$  calculados a dicho suministro de potencia variable 15.

5 De acuerdo con ello, el suministro de potencia variable 15 aplica los voltajes de fase U a fase W  $V_u$  a  $V_w$  al motor eléctrico 1 de tal manera que los voltajes de fase U a fase W  $V_u$  a  $V_w$  sean iguales a los respectivos valores de orden de voltaje de fase U a fase W  $V_{u\_cmd}$  a  $V_{w\_cmd}$ , respectivamente, por lo que las corrientes de fase U a fase W  $I_u$  a  $I_w$  son controladas. En este caso, estas corrientes  $I_u$  a  $I_w$  se representan por dichas ecuaciones (36) a (38),  
10 respectivamente. Además, la amplitud  $I$  de la corriente eléctrica se determina en base a la corriente de eje d deseada  $I_{d\_tar}$  y la corriente de eje q deseada  $I_{q\_tar}$ .

Por el control antes descrito efectuado por la UEC 16, la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFR}$  es controlada de tal manera que dicha ecuación (39) sea válida, y la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$  es controlada de tal manera que dicha ecuación (40) sea válida.

15 El motor eléctrico 1 configurado como antes se usa, por ejemplo, de la siguiente manera: en un estado donde uno de los rotores primero y segundo 4 y 5 está fijado o se introduce potencia a uno de ellos, la potencia eléctrica suministrada al estator 3 es convertida a potencia y sale del otro de ellos. Además, cuando sale potencia simultáneamente de ambos rotores primero y segundo 4 y 5, la potencia se usa como una fuente de accionamiento de un dispositivo, tal como hélices contrarrotativas, en las que el par negativo que cumple la ecuación (41) actúa simultáneamente en los rotores primero y segundo 4 y 5.

A continuación, se describirá más específicamente cómo la potencia eléctrica suministrada al estator 3 es convertida a potencia y sale del primer rotor 4 y el segundo rotor 5. En primer lugar, se describirá con referencia a las figuras 5 a 7 un caso donde la potencia eléctrica es suministrada al estator 3 en un estado en el que el primer rotor 4 está fijado. Se deberá indicar que, en las figuras 5 a 7, los números de referencia indicativos de una pluralidad de elementos componentes se omiten por razones de conveniencia. Esto también se aplica a otras figuras, a las que se hace referencia a continuación. Además, en las figuras 5 a 7, un polo magnético de inducido idéntico y un núcleo idéntico 5a se indican por sombreado para mayor claridad.

25 En primer lugar, como se representa en la figura 5(a), a partir de un estado donde el centro de un cierto núcleo 5a y el centro de un cierto imán permanente 4a son circunferencialmente coincidentes uno con otro, y el centro de cada tres núcleos 5a a partir del cierto núcleo 5a y el centro de cada cuatro imanes permanentes 4a a partir del cierto imán permanente 4a son circunferencialmente coincidentes uno con otro, los campos magnéticos rotativos se generan de tal manera que giren hacia la izquierda, según se ve en la figura 5(a). Al inicio de la generación de los campos magnéticos rotativos, las posiciones de cada dos polos magnéticos de inducido que tienen la misma polaridad se producen de manera que coincidan circunferencialmente con los centros de los imanes permanentes 4a, cuyos centros son coincidentes con los centros de los núcleos 5a, y la polaridad de estos polos magnéticos de inducido se hace diferente de la polaridad de estos polos magnéticos de imán de los imanes permanentes 4a.

35 Como se ha descrito anteriormente, los campos magnéticos rotativos son generados por el estator 3 entre el estator 3 y el primer rotor 4, y el segundo rotor 5 que tiene los núcleos 5a está dispuesto entre el estator 3 y el primer rotor 4, de modo que los núcleos 5a sean magnetizados por los polos magnéticos de inducido y los polos magnéticos de imán. A causa de este hecho y del hecho de que los núcleos 5a adyacentes a espacios están espaciados uno de otro, se generan líneas de fuerza magnética ML de una manera que conecta los polos magnéticos de inducido, los núcleos 5a, y los polos magnéticos de imán. Se deberá indicar que, en las figuras 5 a 7, las líneas de fuerza magnética ML del núcleo de hierro 3a y la porción de fijación 4b se omiten por razones de conveniencia. Esto también se aplica a otras figuras, a las que se hace referencia a continuación.

40 En el estado representado en la figura 5(a), las líneas de fuerza magnética ML son generadas de tal manera que cada una conecte un polo magnético de inducido, un núcleo 5a y un polo magnético de imán cuyas posiciones circunferenciales sean coincidentes una con otra, y al mismo tiempo conecten polos magnéticos de inducido, núcleos 5a y polos magnéticos de imán que sean adyacentes a lados circunferencialmente opuestos del polo magnético de inducido, núcleo 5a, y polo magnético de imán anteriores. Además, en este estado, dado que las líneas de fuerza magnética ML son rectas, ninguna fuerza magnética para girar circunferencialmente los núcleos 5a actúa en los núcleos 5a.

45 Cuando los polos magnéticos de inducido giran a partir de las posiciones representadas en la figura 5(a) a posiciones respectivas representadas en la figura 5(b) según la rotación de los campos magnéticos rotativos, las líneas de fuerza magnética ML se curvan, y consiguientemente las fuerzas magnéticas actúan en los núcleos 5a de tal manera que las líneas de fuerza magnética ML sean rectas. En este caso, las líneas de fuerza magnética ML se curvan en los núcleos 5a de manera curvada en la dirección opuesta a la dirección de rotación de los campos magnéticos rotativos (denominada a continuación "la dirección de rotación de campo magnético") de forma convexa con respecto a las líneas rectas que conectan un polo magnético de inducido y un polo magnético de imán que están conectados uno a otro por una línea asociada de las líneas de fuerza magnética ML. Por lo tanto, las fuerzas magnéticas antes descritas actúan en los núcleos 5a para accionar los núcleos 5a en la dirección de rotación de

campo magnético. Los núcleos 5a son movidos en la dirección de rotación de campo magnético por dicha acción de las fuerzas magnéticas producidas por las líneas de fuerza magnética ML, para rotación a posiciones respectivas representadas en la figura 5(c), y el segundo rotor 5 provisto de los núcleos 5a, y el segundo eje de giro 7 también giran en la dirección de rotación de campo magnético. Se deberá indicar que las líneas de trazos en las figuras (5b) y 5(c) indican que la cantidad de flujo magnético de las líneas de fuerza magnética ML es muy pequeña, y la conexión magnética entre los polos magnéticos de inducido, los núcleos 5a, y los polos magnéticos de imán es débil. Esto también se aplica a otras figuras, a las que se hace referencia a continuación.

Cuando los campos magnéticos rotativos giran más, una secuencia de las operaciones antes descritas, es decir, las operaciones de que “las líneas de fuerza magnética ML se curvan en los núcleos 5a de manera convexa curvada en la dirección opuesta a la dirección de rotación de campo magnético → las fuerzas magnéticas actúan en los núcleos 5a de tal manera que las líneas de fuerza magnética ML sean lineales → los núcleos 5a, el segundo rotor 5, y el segundo eje de giro 7 giran en la dirección de rotación de campo magnético”, se realizan repetidas veces como se representa en las figuras 6(a) a 6(d), y las figuras 7(a) y 7(b). Como se ha descrito anteriormente, la acción de las fuerzas magnéticas producida por las líneas de fuerza magnética ML convierte la potencia eléctrica suministrada al estator 3 en potencia, y la potencia sale del segundo eje de giro 7.

La figura 8 representa un estado en el que los polos magnéticos de inducido giran a partir del estado de la figura 5(a) un ángulo eléctrico de 2 n. Como es claro por la comparación entre la figura 8 y la figura 5(a), se entiende que los núcleos 5a giran en la misma dirección 1/3 del ángulo rotacional con respecto a los polos magnéticos de inducido. Esto concuerda con el hecho de que, sustituyendo  $\omega_{ER1} = 0$  en dicha ecuación (40), se obtiene  $\omega_{ER2} = \omega_{MFR}/3$ .

A continuación, una operación en el caso donde se suministra potencia eléctrica al estator 3 en un estado en el que el segundo rotor 5 está fijado, se describirá con referencia a las figuras 9 a 11. Se deberá indicar que, en las figuras 9 a 11, un polo magnético de inducido idéntico y un imán permanente idéntico 4a se indican por sombreado para mayor claridad. En primer lugar, como se representa en la figura 9(a), al igual que en el caso representado en la figura 5(a), a partir de un estado donde el centro de un cierto núcleo 5a y el centro de un cierto imán permanente 4a son circunferencialmente coincidentes uno con otro, y el centro de cada tres núcleos 5a desde el núcleo 5a y el centro de cada cuatro imanes permanentes 4a del imán permanente 4a son circunferencialmente coincidentes uno con otro, se generan campos magnéticos rotativos de tal manera que giren hacia la izquierda, según se ve en la figura 5(a). Al inicio de la generación de los campos magnéticos rotativos, las posiciones de cada dos polos magnéticos de inducido que tienen la misma polaridad se hacen coincidir circunferencialmente con los centros de los imanes permanentes 4a cuyos centros son coincidentes con los centros de los núcleos 5a, y la polaridad de estos polos magnéticos de inducido se hace diferente de la polaridad de estos polos magnéticos de imán de los imanes permanentes 4a.

En el estado representado en la figura 9(a), al igual que en el caso representado en la figura 5(a), se generan líneas de fuerza magnética ML de tal manera que cada una conecte un polo magnético de inducido, un núcleo 5a y un polo magnético de imán cuyas posiciones circunferenciales son coincidentes una con otra, y al mismo tiempo conectan los polos magnéticos de inducido, los núcleos 5a y los polos magnéticos de imán que son adyacentes a lados circunferencialmente opuestos del polo magnético de inducido, el núcleo 5a y el polo magnético de imán anteriores. Además, en este estado, dado que las líneas de fuerza magnética ML son rectas, no actúan fuerzas magnéticas para girar circunferencialmente los imanes permanentes 4a en los imanes permanentes 4a.

Cuando los polos magnéticos de inducido giran a partir de las posiciones representadas en la figura 9(a) a posiciones respectivas representadas en la figura 9(b) según la rotación de los campos magnéticos rotativos, las líneas de fuerza magnética ML se curvan, y consiguientemente las fuerzas magnéticas actúan en los imanes permanentes 4a de tal manera que las líneas de fuerza magnética ML sean rectas. En este caso, los imanes permanentes 4a están colocados hacia delante de una línea de extensión de un polo magnético de inducido y un núcleo 5a que están conectados uno a otro por una línea asociada de las líneas de fuerza magnética ML, en la dirección de rotación de campo magnético, y por lo tanto las fuerzas magnéticas actúan en los imanes permanentes 4a de tal manera que cada imán permanente 4a se tenga que colocar en la línea de extensión, es decir, de tal manera que el imán permanente 4a sea movido en una dirección opuesta a la dirección de rotación de campo magnético. Los imanes permanentes 4a son movidos en una dirección opuesta a la dirección de rotación de campo magnético por dicha acción de las fuerzas magnéticas producidas por las líneas de fuerza magnética ML, y giran a posiciones respectivas representadas en la figura 9(c). El primer rotor 4 provisto de los imanes permanentes 4a, y el primer eje de giro 6 también giran en la dirección opuesta a la dirección de rotación de campo magnético.

Cuando los campos magnéticos rotativos giran más, una secuencia de las operaciones antes descritas, es decir, las operaciones de que “las líneas de fuerza magnética ML se curvan → los imanes permanentes 4a se colocan hacia delante de una línea de extensión de un polo magnético de inducido y un núcleo 5a que están conectados uno a otro por una línea asociada de las líneas de fuerza magnética ML, en la dirección de rotación de campo magnético → las fuerzas magnéticas actúan en los imanes permanentes 4a de tal manera que las líneas de fuerza magnética ML sean rectas → los imanes permanentes 4a, el primer rotor 4, y el primer eje de giro 6 giran en la dirección opuesta a la dirección de rotación de campo magnético” se realizan repetidas veces como se representa en las figuras 10(a) a 10(d), y las figuras 11(a) y 11(b). Como se ha descrito anteriormente, la acción de las fuerzas magnéticas producidas

por las líneas de fuerza magnética ML convierte la potencia eléctrica suministrada al estator 3 en potencia, y la potencia sale del primer eje de giro 6.

5 La figura 11(b) representa un estado en el que los polos magnéticos de inducido giran a partir del estado de la figura 9(a) el ángulo eléctrico de  $2n$ . Como es claro por la comparación entre la figura 11(b) y la figura 9(a), se entiende que los imanes permanentes 4a giran en la dirección opuesta  $1/2$  del ángulo rotacional con respecto a los polos magnéticos de inducido. Esto concuerda con el hecho de que, sustituyendo  $\omega_{ER2} = 0$  en dicha ecuación (40), se obtiene  $\omega_{ER1} = \omega_{MFR}/2$ .

10 La figura 12 y la figura 13 representan resultados de simulaciones de control en las que los números de los polos magnéticos de inducido, los núcleos 5a, y los imanes permanentes 4a son 16, 18 y 20, respectivamente, el primer rotor 4 está fijado, y sale potencia del segundo rotor 5 suministrando potencia eléctrica al estator 3. La figura 12 representa un ejemplo de los cambios en los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W  $V_{cu}$  a  $V_{cw}$  durante un período de tiempo en el que el ángulo eléctrico de segundo rotor  $\theta_{ER2}$  cambia de 0 a  $2n$ .

15 En este caso, dado que el primer rotor 4 está fijado, los números par de polo de los polos magnéticos de inducido y los polos magnéticos de imán son iguales a 8 y 10, respectivamente, y se aplica dicha ecuación (25), la relación entre la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$  y las velocidades angulares eléctricas de los rotores primero y segundo  $\omega_{ER1}$  y  $\omega_{ER2}$  se expresa por  $\omega_{MFR} = 2,25 \cdot \omega_{ER2}$ . Como se representa en la figura 12, durante un período de tiempo en el que el ángulo eléctrico de segundo rotor  $\theta_{ER2}$  cambia de 0 a  $2\pi$ , los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W  $V_{cu}$  a  $V_{cw}$  son generados por aproximadamente 2,25 períodos. Además, la figura 12 representa cambios en los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W  $V_{cu}$  a  $V_{cw}$ , según se ve desde el segundo rotor 5. Como se representa en la figura, con el ángulo eléctrico de segundo rotor  $\theta_{ER2}$  como el eje horizontal, los voltajes de fuerza contraelectromotriz están dispuestos en el orden del voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase W  $V_{cw}$ , el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase V  $V_{cv}$ , y el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase U  $V_{cu}$ . Esto muestra que el segundo rotor 5 gira en la dirección de rotación de campo magnético. Como se ha descrito anteriormente, fue posible confirmar que  $\omega_{MFR} = 2,25 \cdot \omega_{ER2}$  es válido, también a partir de los resultados de la simulación representada en la figura 12.

30 Además, la figura 13 representa un ejemplo de los cambios en el par equivalente de accionamiento TSE, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo TR1 y TR2. En este caso, a partir del hecho de que los números par de polo de los polos magnéticos de inducido y el hecho de que los polos magnéticos de imán son iguales a 8 y 10, respectivamente, y de dicha ecuación (32), la relación entre el par equivalente de accionamiento TSE, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo TR1 y TR2 se representa por  $TSE = TR1/1,25 = -TR2/2,25$ . Como se representa en la figura 13, el par equivalente de accionamiento TSE es aproximadamente igual a  $-TREF$ , el par de transmisión de primer rotor TR1 es aproximadamente igual a  $1,25 \cdot (-TREF)$ , y el par de transmisión de segundo rotor TR2 es aproximadamente igual a  $2,25 \cdot TREF$ . Este TREF representa un valor de par predeterminado (por ejemplo 200 Nm). Como se ha descrito anteriormente, fue posible confirmar que  $TSE = TR1/1,25 = -TR2/2,25$  es válido, también a partir de los resultados de la simulación representada en la figura 13.

40 Las figuras 14 y 15 representan resultados de simulaciones de control en las que los números de los polos magnéticos de inducido, los núcleos 5a, y los imanes permanentes 4a se ponen igual que en los casos ilustrados en las figuras 12 y 13, el segundo rotor 5 está fijado en lugar del primer rotor 4, y sale potencia del primer rotor 4 suministrando potencia eléctrica al estator 3. La figura 14 representa un ejemplo de los cambios en los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W  $V_{cu}$  a  $V_{cw}$  durante un período de tiempo en el que el ángulo eléctrico de primer rotor  $\theta_{ER1}$  cambia de 0 a  $2n$ .

50 En este caso, dado que el segundo rotor 5 está fijado, los números par de polo de los polos magnéticos de inducido y los polos magnéticos de imán son iguales a 8 y 10, respectivamente, y se aplica dicha ecuación (25), la relación entre la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$ , y las velocidades angulares eléctricas de los rotores primero y segundo  $\omega_{ER1}$  y  $\omega_{ER2}$  se expresa por  $\omega_{MFR} = -1,25 \cdot \omega_{ER1}$ . Como se representa en la figura 14, los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W  $V_{cu}$  a  $V_{cw}$  son generados por aproximadamente 1,25 períodos durante un período de tiempo en el que el ángulo eléctrico de primer rotor  $\theta_{ER1}$  cambia de 0 a  $2n$ . Además, la figura 14 representa los cambios en los voltajes de fuerza contraelectromotriz de fase U a fase W  $V_{cu}$  a  $V_{cw}$ , según se ve desde el primer rotor 4. Como se representa en la figura, con el ángulo eléctrico de primer rotor  $\theta_{ER1}$  como el eje horizontal, los voltajes de fuerza contraelectromotriz están dispuestos en el orden del voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase U  $V_{cu}$ , el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase V  $V_{cv}$ , y el voltaje de fuerza contraelectromotriz de fase W  $V_{cw}$ . Esto muestra que el primer rotor 4 gira en la dirección opuesta a la dirección de rotación de campo magnético. Como se ha descrito anteriormente, fue posible confirmar que  $\omega_{MFR} = -1,25 \cdot \omega_{ER1}$  es válido, también a partir de los resultados de la simulación representada en la figura 14.

60 Además, la figura 15 representa un ejemplo de los cambios en el par equivalente de accionamiento TSE, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo TR1 y TR2. También en este caso, al igual que en el caso de la figura 13, la relación entre el par equivalente de accionamiento TSE, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo TR1 y TR2 se representa por  $TSE = TR1/1,25 - TR2/2,25$  a partir de dicha ecuación (32). Como se representa en la figura 15, el par equivalente de accionamiento TSE es aproximadamente igual a TREF, el par de

transmisión de primer rotor TR1 es aproximadamente igual a  $1,25 \cdot TREF$ , y el par de transmisión de segundo rotor TR2 es aproximadamente igual a  $-2,25 \cdot TREF$ . Como se ha descrito anteriormente, fue posible confirmar que  $TSE = TR1/1,25 = -TR2/2,25$  es válido, también a partir de los resultados de la simulación representada en la figura 15.

5 Como se ha descrito hasta ahora, según la presente realización, el motor eléctrico 1 puede ser operado simplemente usando la única fila de elementos de material magnético blando formada por los núcleos 5a, de modo que es posible reducir el tamaño y los costos de fabricación del motor eléctrico 1. Además, poniendo la relación del número par de polos de los polos magnéticos de imán a la de los polos magnéticos de inducido, es posible poner libremente la relación entre la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFR}$ , y las velocidades angulares eléctricas de los rotores primero y segundo  $\omega_{ER1}$  y  $\omega_{ER2}$ , y la relación entre el par equivalente de accionamiento TSE, y los pares de transmisión de los rotores primero y segundo TR1 y TR2, lo que permite mejorar el grado de libertad de diseño del motor eléctrico 1.

15 Además, dado que la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFR}$  es controlada de tal manera que dicha ecuación (40) sea válida, es posible asegurar la operación apropiada del motor eléctrico 1. Además, se usan los polos magnéticos de los imanes permanentes 4a, y por lo tanto de forma diferente al caso donde se usan los polos magnéticos de electroimanes, es posible prescindir de circuitos eléctricos y bobinas para suministrar potencia eléctrica a los electroimanes. Esto hace posible reducir más el tamaño del motor eléctrico 1 y simplificar su construcción. Además, es posible prescindir de un aro de deslizamiento para suministrar potencia eléctrica a electroimanes cuando los polos magnéticos de los electroimanes se usan como los polos magnéticos, haciendo por ello posible reducir el tamaño del motor eléctrico 1 y aumentar su eficiencia.

25 Aunque en la primera realización antes descrita, los rotores primero y segundo 4 y 5 están configurados de manera que sean rotativos, esto no es limitativo, sino que se puede configurar que uno de los dos 4 y 5 sea no rotativo y que solamente el otro esté configurado de manera que sea rotativo de modo que salga potencia del otro. En este caso, dado que uno de los rotores primero y segundo 4 y 5 está configurado de manera que no sea rotativo, sólo hay que detectar únicamente la posición angular eléctrica del otro de los dos 4 y 5 por un sensor o análogos y controlar los campos magnéticos rotativos según la posición angular eléctrica detectada del otro, como es evidente por el hecho de que, en dicha ecuación (39), la posición angular eléctrica de uno de los dos 4 y 5 es igual a 0. Además, el estator 3 puede estar configurado de manera que sea rotativo. En este caso, el motor eléctrico se usa por ejemplo como sigue: en un estado en el que se introduce potencia a uno de los rotores primero y segundo 4 y 5, y el estator 3, la potencia eléctrica es suministrada al estator 3 para convertir la potencia eléctrica en potencia por lo que la potencia sale del otro de los dos 4 y 5. Alternativamente, cuando en un estado en el que uno de los rotores primero y segundo 4 y 5 está fijado (o se introduce potencia a uno de los dos 4 y 5), sale potencia simultáneamente del estator 3 y el otro de los dos 4 y 5, el motor eléctrico se usa como una fuente de accionamiento de un dispositivo, tal como hélices contrarrotativas, en el que el par negativo que cumple la ecuación (41) actúa simultáneamente en el estator 3 y el otro.

40 Además, aunque en la primera realización, la posición de ángulo rotacional de un imán permanente específico 4a y la de un núcleo específico 5a con respecto a una bobina de referencia, es decir, una bobina de fase U específica 3c, son detectadas como los ángulos rotacionales de rotor primero y segundo  $\theta_{R1}$  y  $\theta_{R2}$ , respectivamente, las posiciones de ángulo rotacional de otras partes componentes pueden ser detectadas en la medida en que representen las posiciones de ángulo rotacional de los rotores primero y segundo 4 y 5 con respecto al estator 3. Por ejemplo, la posición de ángulo rotacional de una porción específica de la porción de fijación 4b o el primer eje de giro 6, y la posición de ángulo rotacional de una porción específica de la pestaña 5b o el segundo eje de giro 7, con respecto a una bobina de fase V específica 3d, una bobina de fase W específica 3e, o una porción específica del cárter 2, puede ser detectada como el ángulo rotacional de primer rotor  $\theta_{R1}$  y el ángulo rotacional de segundo rotor  $\theta_{R2}$ , respectivamente.

50 Además, aunque en la primera realización, la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFR}$  para uso al controlar los campos magnéticos rotativos es calculada por la ecuación (39) usando los ángulos rotacionales de rotor primero y segundo  $\theta_{R1}$  y  $\theta_{R2}$  detectados por los sensores de posición rotacional primero y segundo 21 y 22, la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFR}$  puede ser calculada por un método propuesto en la Solicitud de Patente japonesa número 2007-280916. Más específicamente, se prepara una unidad de engranajes planetarios en la que la relación entre el número de dientes de un engranaje solar y el número de dientes de un engranaje anular es igual a la relación entre el número de polos magnéticos de inducido y el número de polos magnéticos de imán, y un solo sensor de posición rotacional. Uno del engranaje solar y el engranaje anular está conectado al primer rotor 4, y un soporte está conectado al segundo rotor 5, después de lo que la posición de ángulo rotacional del otro del engranaje solar y el engranaje anular con respecto a la bobina de fase U específica 3c es detectada por el sensor de posición rotacional. En este caso, cuando el número de los polos magnéticos de inducido es mayor que el número de los polos magnéticos de imán, el engranaje solar está conectado al primer rotor 4.

65 Por lo anterior, la posición de ángulo rotacional detectada por el sensor de posición rotacional antes descrito se expresa por  $(1+\gamma) \theta_{R2} - \gamma \cdot \theta_{R1}$ , donde  $\gamma$  representa la relación del número de los polos magnéticos de imán al número de los polos magnéticos de inducido. Como es claro por este hecho, es posible determinar la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFR}$  para uso al controlar los campos magnéticos rotativos por la unidad de

engranajes planetarios, el único sensor de posición rotacional, sin detectar las posiciones de ángulo rotacional de los rotores primero y segundo 4 y 5 por separado por dos sensores.

Además, aunque en la primera realización, el estator 3 y el primer rotor 4 están dispuestos en una posición exterior y una posición interior en la dirección radial, respectivamente, esto no es limitativo, sino que, a la inversa, se pueden disponer en una posición interior y una posición exterior en la dirección radial, respectivamente. Además, aunque el motor eléctrico 1 se construya como el denominado motor de tipo radial disponiendo el estator 3 y los rotores primero y segundo 4 y 5 en la dirección radial, el motor eléctrico 1 se puede construir como el denominado tipo de motor axial disponiendo el estator 3 y los rotores primero y segundo 4 y 5 en la dirección axial.

A continuación, un motor eléctrico 31 según una segunda realización de la presente invención se describirá con referencia a las figuras 16 y 17. A diferencia de la primera realización, el motor eléctrico 31 representado en las figuras se construye como un motor lineal, y se aplica a un aparato de transporte. Se deberá indicar que, en la figura 16, los elementos componentes idénticos a los de la primera realización se designan con los mismos números de referencia. A continuación se describen principalmente los puntos que difieren de la primera realización.

Como se representa en las figuras 16 y 17, el motor eléctrico 31 está compuesto por un cárter inmóvil 32, un primer estator 33 dispuesto dentro del cárter 32, un segundo rotor 34 dispuesto dentro del cárter 32 de manera opuesta al primer estator 33, y un elemento móvil 35 dispuesto entre los estatores 33 y 34.

El cárter 32 incluye una pared inferior en forma de chapa 32a en la que una dirección delantera-trasera (una dirección de alejamiento del observador, según se ve en la figura 16, y una dirección vertical, según se ve en la figura 17) se denomina su dirección de longitud, y paredes laterales 32b y 32c que están formadas integralmente con la pared inferior 32a, y se extienden hacia arriba desde extremos opuestos de la pared inferior 32a de manera opuesta una a otra.

El primer estator 33 es para generar campos magnéticos móviles y, como se representa en la figura 17, incluye un núcleo de hierro 33a, y bobinas de fase U, fase V y fase W 33c, 33d y 33e dispuestas en el núcleo de hierro 33a. El núcleo de hierro 33a, en forma de un paralelepípedo rectangular formado laminando una pluralidad de chapas de acero, se extiende a lo largo de la longitud completa del cárter 32 en la dirección delantera-trasera, y está montado en la pared lateral 32b del cárter 32. Además, el núcleo de hierro 33a tiene gran número de ranuras 33b formadas en su superficie hacia el segundo estator 34. Las ranuras 33b se extienden en la dirección vertical, y están dispuestas a intervalos igualmente espaciados en la dirección delantera-trasera. Las bobinas de fase U a fase W 33c a 33e están devanadas en las ranuras 33b por devanado distribuido (devanado de onda), y están conectadas a dicho suministro de potencia variable 15.

En el primer estator 33 configurado como antes, cuando se suministra potencia eléctrica desde el suministro de potencia variable 15, se genera gran número de polos magnéticos en un extremo del núcleo de hierro 33a hacia el segundo estator 34 a intervalos igualmente espaciados en la dirección delantera-trasera (véase la figura 18), y campos magnéticos móviles producidos por los polos magnéticos se mueven en la dirección delantera-trasera. A continuación, al igual que en la primera realización, los polos magnéticos generados en el núcleo de hierro 33a se denominan "los polos magnéticos de inducido". Se deberá indicar que en la figura 18, al igual que en la figura 5, los polos magnéticos de inducido se denotan por (N) y (S) sobre el núcleo de hierro 33a y las bobinas de fase U a fase W 33c a 33e. En este caso, como se representa en la figura, el número de los polos magnéticos de inducido en una sección predeterminada INT a lo largo de la dirección delantera-trasera es cuatro.

El segundo estator 34 incluye una fila de polos magnéticos compuesta de gran número de imanes permanentes 34a. Estos imanes permanentes 34a están dispuestos a intervalos igualmente espaciados en la dirección delantera-trasera, y la fila de polos magnéticos está dispuesta de manera opuesta al núcleo de hierro 33a del primer estator 33. Cada imán permanente 34a tiene forma de un paralelepípedo rectangular, y su longitud en la dirección vertical se pone a la misma longitud que la del núcleo de hierro 33a. Además, los imanes permanentes 34a están montados en un extremo derecho de una superficie superior de la pared inferior 32a (lado "derecho", según se ve en la figura 16) por una porción de fijación 34b, estando al mismo tiempo montados en la pared lateral 32c. La porción de fijación 34b se hace de un elemento de material magnético blando, tal como hierro. Los imanes permanentes 34a están montados en la porción de fijación 34b hecha de hierro, como se ha descrito anteriormente, y por lo tanto un polo magnético de (N) o (S) aparece en un extremo de cada imán permanente 34a hacia el primer estator 33. Se deberá indicar que en las figuras 17 y 18, al igual que en la figura 3, los polos magnéticos de los imanes permanentes 34a (denominados a continuación "los polos magnéticos de imán", al igual que en la primera realización) se denotan por (N) y (S). Además, como se representa en la figura 18, cada dos imanes permanentes 34a adyacentes uno a otro en la dirección delantera-trasera tienen polaridades diferentes uno de otro, y el número de los imanes permanentes 34a dentro de la sección predeterminada INT es ocho.

El elemento móvil 35 incluye una chapa superior 35a dispuesta encima de los estatores primero y segundo 33 y 34, y una fila de elementos de material magnético blando formada por seis núcleos 35b dispuestos en la chapa superior 35a. Los tamaños de la chapa superior 35a en la dirección delantera-trasera y la dirección izquierda-derecha son más pequeños que los del cárter 32. La chapa superior 35a cubre parte de los estatores primero y segundo 33 y 34.

Cada núcleo 35b tiene forma de un paralelepípedo rectangular formado laminando elementos magnéticos de material blando, tal como una pluralidad de chapas de acero, y su longitud en la dirección vertical es la misma que la del núcleo de hierro 33a. Además, los seis núcleos 35b están conectados uno a otro por la chapa superior 35a mediante porciones de conexión 35c formadas en sus extremos superiores, y están dispuestos a intervalos igualmente espaciados en la dirección delantera-trasera. Además, la fila de elementos de material magnético blando formada por los núcleos 35b está dispuesta entre el núcleo de hierro 33a del primer estator 33 y la fila de polos magnéticos del segundo estator 34 a intervalos espaciados predeterminados. Cada núcleo 35b tiene ruedas 35d formadas en su parte inferior. El núcleo 35b se coloca en carriles (no representados) formados en una superficie superior de la pared inferior 32a mediante las ruedas 35d, por lo que el elemento móvil 35 incluyendo los núcleos 35b está configurado de manera que sea móvil en la dirección delantera-trasera, pero inmóvil en la dirección izquierda-derecha. Se deberá indicar que, en las figuras 17 y 18, las porciones de conexión 35c se omiten por razones de conveniencia.

En la presente realización, el estator 34 corresponde a la primera estructura en la presente invención, y los imanes permanentes 34a corresponden a polos magnéticos en la presente invención. Además, el primer estator 33 corresponde a la segunda estructura en la presente invención, y el núcleo de hierro 33a y las bobinas de fase U a fase W 33c a 33e corresponden a los inducidos en la presente invención. Además, el elemento móvil 35 corresponde a la tercera estructura en la presente invención, y los núcleos 35b corresponden a los elementos magnéticos de material blando en la presente invención.

Además, el motor eléctrico 31 está provisto de un sensor óptico de posición 41 (medios detectores de relación posicional relativa) que suministra una señal de detección indicativa de la posición de un núcleo específico 35b del elemento móvil 35 con respecto a una bobina de fase U específica 33c del primer estator 33 (denominada a continuación "la posición de elemento móvil"), a la UEC 16. La UEC 16 determina la relación posicional relativa entre el elemento móvil 35 y los estatores primero y segundo 33 y 34, según la posición detectada del elemento móvil, y en base a la relación posicional, controla la energización de las bobinas de fase U a fase W 33c a 33e, para controlar por ello los campos magnéticos móviles. Más específicamente, este control se lleva a cabo de la siguiente manera:

Como se representa en la figura 18, en la sección predeterminada INT, al igual que en la primera realización, se usan cuatro polos magnéticos de inducido, ocho polos magnéticos de imán, y seis núcleos 35b. Es decir, la relación entre el número de los polos magnéticos de inducido, el número de los polos magnéticos de imán, y el número de los núcleos 35b se pone a 1 : 2: (1+2)/2. En la presente realización, dado que los imanes permanentes 34a están configurados de manera que sean inmóviles y se aplica dicha ecuación (39), la posición angular eléctrica de un vector de los campos magnéticos móviles (denominada a continuación "la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFM}$ ") es controlada de tal manera que  $\theta_{MFM} = 3 \cdot \theta_{EM}$  sea válido. Este  $\theta_{EM}$  es un valor obtenido convirtiendo la posición de elemento móvil a una posición angular eléctrica (denominada a continuación "la posición angular eléctrica de elemento móvil"). Más específicamente,  $\theta_{EM}$  es un valor obtenido multiplicando la posición detectada del elemento móvil por el número par de polos del polo magnético de inducido, es decir, un valor de 2. Se deberá indicar que, al igual que en la primera realización, el control anterior se lleva a cabo controlando la corriente eléctrica que fluye a través de las bobinas de fase U a fase W 33c a 33e por control vectorial.

Por lo anterior, la velocidad angular eléctrica de los campos magnéticos móviles (denominada a continuación "la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFM}$ ") es controlada de tal manera que se cumpla  $\omega_{MFM} = 3 \cdot \omega_{EM}$ . Este  $\omega_{EM}$  denota un valor obtenido diferenciando la posición angular eléctrica de elemento móvil  $\theta_{EM}$  con respecto al tiempo, es decir, un valor obtenido convirtiendo la velocidad de movimiento del elemento móvil 35 a una velocidad angular eléctrica (denominada a continuación "la velocidad angular eléctrica de elemento móvil"). Además, si un empuje equivalente a la potencia eléctrica suministrada al primer estator 33 y la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFM}$  se denota por un empuje de accionamiento equivalente FSE, la relación entre el empuje equivalente de accionamiento FSE y un empuje FM transmitido al elemento móvil 35 (denominado a continuación "empuje de transmisión de elemento móvil FM") se expresa por  $FSE = -FM/3$  a partir de dicha ecuación (41),

Como se ha descrito anteriormente, según la presente realización, al igual que en la primera realización, el motor eléctrico 31 puede ser operado solamente por una sola fila de elementos de material magnético blando compuesta de seis núcleos 35b, de modo que es posible reducir el tamaño y los costos de fabricación del motor eléctrico 1. Además, poniendo la relación del número par de polos de los polos magnéticos de imán a la de los polos magnéticos de inducido dentro de la sección predeterminada INT, es posible poner libremente la relación entre la velocidad angular eléctrica de campo magnético  $\omega_{MFM}$  y la velocidad angular eléctrica de elemento móvil  $\omega_{EM}$ , y la relación entre el empuje equivalente de accionamiento FSE y el empuje de transmisión de elemento móvil FM, y por lo tanto es posible mejorar el grado de libertad de diseño del motor eléctrico 31.

Además, dado que la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFM}$  es controlada de tal manera que  $\theta_{MFM} = 3 \cdot \theta_{EM}$  sea válido, es posible asegurar la operación apropiada del motor eléctrico 31. Además, al igual que en la primera realización, se usan los polos magnéticos de los imanes permanentes 34a, por lo que es posible reducir más el tamaño del motor eléctrico 31 al objeto de simplificar su construcción.

- 5 Se deberá indicar que el motor eléctrico 31 puede estar configurado de la siguiente manera: se forma un segundo elemento móvil conectando la pluralidad de imanes permanentes 34a del segundo estator 34 por una chapa superior distinta de la chapa superior 35a, y está configurado de manera que sea móvil en la dirección delantera-trasera con respecto al cárter 32 de forma que, al igual que en la primera realización, pueda salir potencia de al menos uno del elemento móvil 35 y el segundo elemento móvil. Además, un tercer elemento móvil se forma montando el núcleo de hierro 33a del primer estator 33 en la chapa superior de tal manera que el tercer elemento móvil sea móvil en la dirección delantera-trasera con respecto al cárter 32. Entonces, como se ha descrito hasta ahora con respecto a la primera realización, sale potencia del elemento móvil 35, el segundo elemento móvil, o el tercer elemento móvil.
- 10 Cuando el segundo elemento móvil se dispone como se ha descrito anteriormente, no solamente la posición de elemento móvil del elemento móvil 35, sino también la posición del imán permanente específico 34a del segundo elemento móvil con respecto a la bobina de fase U específica 33c es detectada por un sensor, y la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFM}$  se calcula en base a la ecuación (39) según la posición de elemento móvil y la posición detectada del segundo elemento móvil. Entonces, la posición angular eléctrica de campo magnético  $\theta_{MFM}$  calculada se usa para controlar los campos magnéticos rotativos.
- 15 Aunque en la segunda realización, la posición del núcleo específico 35a con respecto a la bobina de fase U específica 33c es detectada como la posición de elemento móvil, la posición de otra porción puede ser detectada en la medida en que represente la posición del elemento móvil 35 con respecto al primer estator 33. Por ejemplo, la posición de una porción específica, tal como la chapa superior 35a, con respecto a una bobina de fase V específica 33d, una bobina de fase W específica 33e, una porción específica del cárter 32 puede ser detectada como la posición de elemento móvil. Esto también se aplica al caso donde se dispone el segundo elemento móvil o el tercer elemento móvil, como se ha descrito anteriormente.
- 20 Se deberá indicar que la presente invención no se limita de ningún modo a las realizaciones antes descritas, sino que se puede poner en práctica de varias formas. Por ejemplo, aunque en las realizaciones antes descritas, un polo magnético está formado por el polo magnético de un solo imán permanente 4a o 34a, se puede formar por los polos magnéticos de una pluralidad de imanes permanentes. Por ejemplo, si se forma un polo magnético disponiendo dos imanes permanentes en forma de V invertida de tal manera que sus polos magnéticos estén más próximos uno a otro hacia el estator 3 (primer estator 33), es posible mejorar la directividad de una línea de fuerza magnética ML.
- 25 Además, se puede usar electroimanes o inducidos que pueden generar campos magnéticos móviles en lugar de los imanes permanentes 4a o 34a usados en las realizaciones antes descritas. Además, aunque en las realizaciones antes descritas, las bobinas de fase U a fase W 3c a 3e y 33c a 33e están devanadas en las ranuras 3b y 33b por devanado distribuido, esto no es limitativo, sino que pueden estar devanadas en las ranuras por devanado concentrado. Además, aunque en las realizaciones antes descritas, las bobinas 3c a 3e y 33c a 33e están formadas por bobinas trifásicas de fase U a fase W, el número de fases se puede poner a voluntad en la medida en que las bobinas puedan generar campos magnéticos móviles (campos magnéticos rotativos).
- 30 Además, se ha de entender que un número deseado de ranuras, distinto del usado en las realizaciones antes descritas, se puede emplear como el número de las ranuras 3b y 33b. Además, aunque en las realizaciones antes descritas, las ranuras 3b y 33b, los imanes permanentes 4a y 34a, y los núcleos 5b y 35b están dispuestos a intervalos igualmente espaciados, se pueden disponer a intervalos desigualmente espaciados. Además, aunque en las realizaciones antes descritas, se usan cuatro polos magnéticos de inducido, ocho polos magnéticos de imán, y seis núcleos 5a o 35b, se pueden emplear los números deseados como los números de los polos magnéticos de inducido, los polos magnéticos de imán, y los núcleos en la medida en que la relación entre ellos cumpla  $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1,0$ ). Además, aunque en las realizaciones antes descritas, el primer sensor de posición rotacional 21, el segundo sensor de posición rotacional 22, y el sensor de posición 41, son sensores del tipo de inducción electromagnética, pueden ser sensores de tipo óptico. Además, aunque en las realizaciones antes descritas, la UEC 16 se usa como los medios de control en la presente invención, se puede usar una combinación de un microordenador y circuitos eléctricos. Además, es posible cambiar los detalles de la construcción de la realización dentro del espíritu y alcance de la presente invención.
- 35
- 40
- 45
- 50
- [Aplicabilidad industrial]
- 55 El motor eléctrico según la presente invención es capaz de reducir el tamaño y los costos de su fabricación, y es muy útil para mejorar su grado de libertad de diseño.

**REIVINDICACIONES**

1. Un motor eléctrico incluyendo:

- 5 una primera estructura (4, 6, 34) incluyendo una fila de polos magnéticos, estando formada dicha fila de polos magnéticos por una pluralidad predeterminada de polos magnéticos (4a, 34a) dispuestos en una dirección predeterminada, y teniendo cada uno dos polos magnéticos adyacentes dispuestos de manera que tengan polaridades diferentes uno de otro;
- 10 una segunda estructura (3, 33) incluyendo una fila de inducidos, estando formada dicha fila de inducidos por una pluralidad de inducidos (3a, 3c-3e, 33a, 33c-33e) dispuestos en la dirección predeterminada, y estando dispuesta de manera opuesta a dicha fila de polos magnéticos, para generar campos magnéticos móviles que se mueven en la dirección predeterminada entre dicha fila de inducidos y dicha fila de polos magnéticos por una pluralidad predeterminada de polos magnéticos de inducido generados en dicha pluralidad de inducidos según su suministro de potencia eléctrica; y
- 15 una tercera estructura (5, 7, 35) incluyendo una fila de elementos de material magnético blando, estando formada dicha fila de elementos de material magnético blando por una pluralidad predeterminada de elementos magnéticos de material blando (5a, 35b) dispuestos en la dirección predeterminada de manera espaciada uno de otro, y estando dispuestos de modo que dicha fila de elementos de material magnético blando se coloque entre dicha fila de polos magnéticos y dicha fila de inducidos,
- 20 donde una relación entre un número de los polos magnéticos de inducido, un número de los polos magnéticos, y un número de dichos elementos magnéticos de material blando, dentro de una sección predeterminada a lo largo de la dirección predeterminada se pone a  $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1, 0$ ).
- 25

2. Un motor eléctrico según la reivindicación 1, incluyendo además:

- 30 Medios detectores de relación posicional relativa (21, 22, 16b, 41) para detectar una relación posicional relativa entre dichas estructuras primera a tercera (4, 6, 34; 3, 33; 5, 7, 35); y
- medios de control (16) para controlar los campos magnéticos móviles en base a la relación posicional relativa detectada entre dichas estructuras primera a tercera (4, 6, 34; 3, 33; 5, 7, 35).
- 35 3. Un motor eléctrico según la reivindicación 2, donde dichos medios detectores de relación posicional relativa (21, 22, 16b) detectan posiciones angulares eléctricas de dicha primera estructura (4, 6, 34) y dicha tercera estructura (5, 7, 35) con respecto a dicha segunda estructura (3, 33), respectivamente, como la relación posicional relativa entre dichas estructuras primera a tercera (4, 6, 34; 3, 33; 5, 7, 35), y
- 40 donde dichos medios de control (16) controlan los campos magnéticos móviles en base a una diferencia entre un valor obtenido multiplicando la posición angular eléctrica detectada de dicha tercera estructura (5, 7, 35) por  $(1+m)$ , y un valor obtenido multiplicando la posición angular eléctrica detectada de dicha primera estructura (4, 6, 34) por  $m$ .
- 45 4. Un motor eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde los polos magnéticos son polos magnéticos de imanes permanentes.
5. Un motor eléctrico como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el motor eléctrico es una máquina rotativa.
- 50 6. Un motor eléctrico como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el motor eléctrico es un motor lineal.

FIG. 1

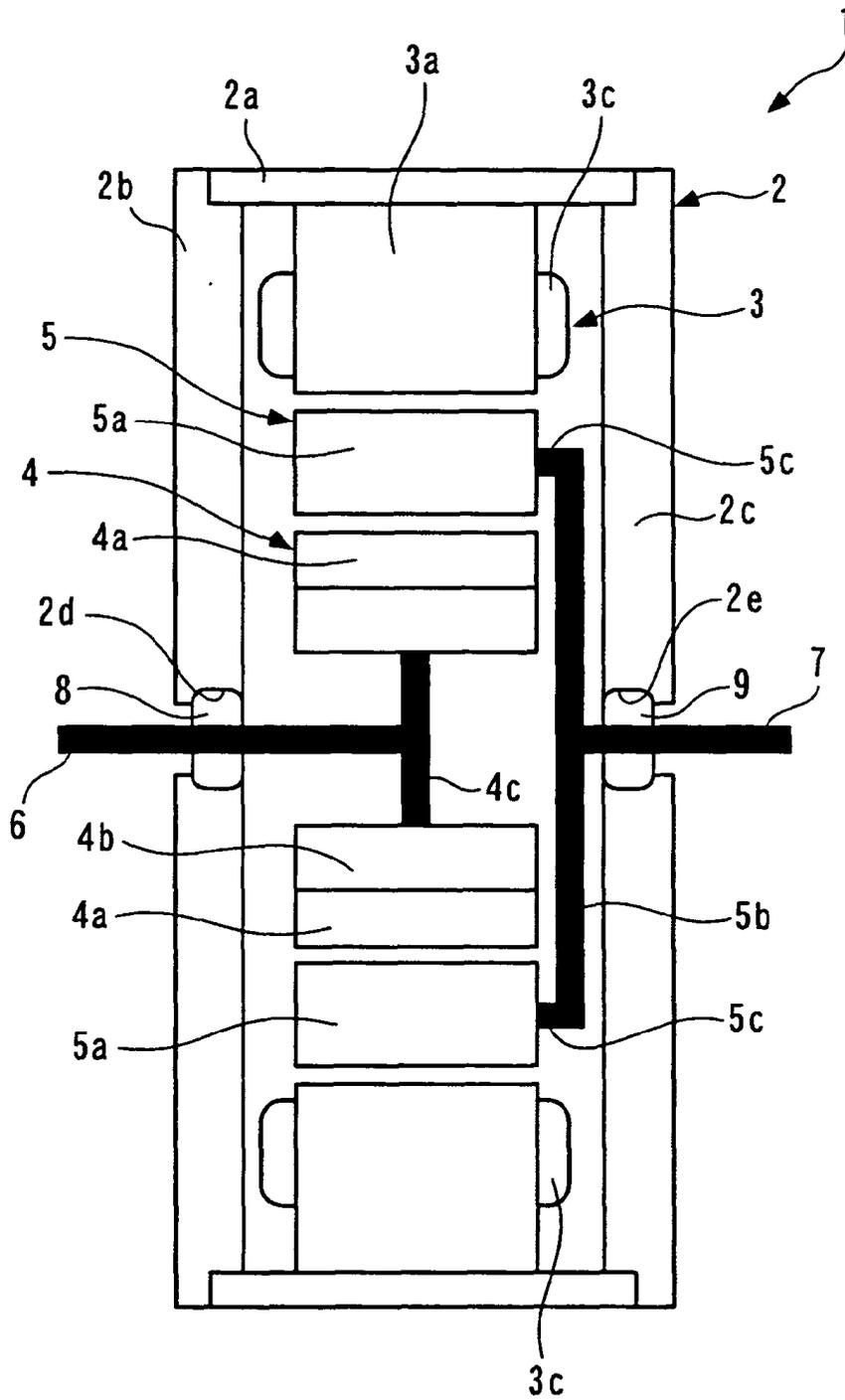


FIG. 2

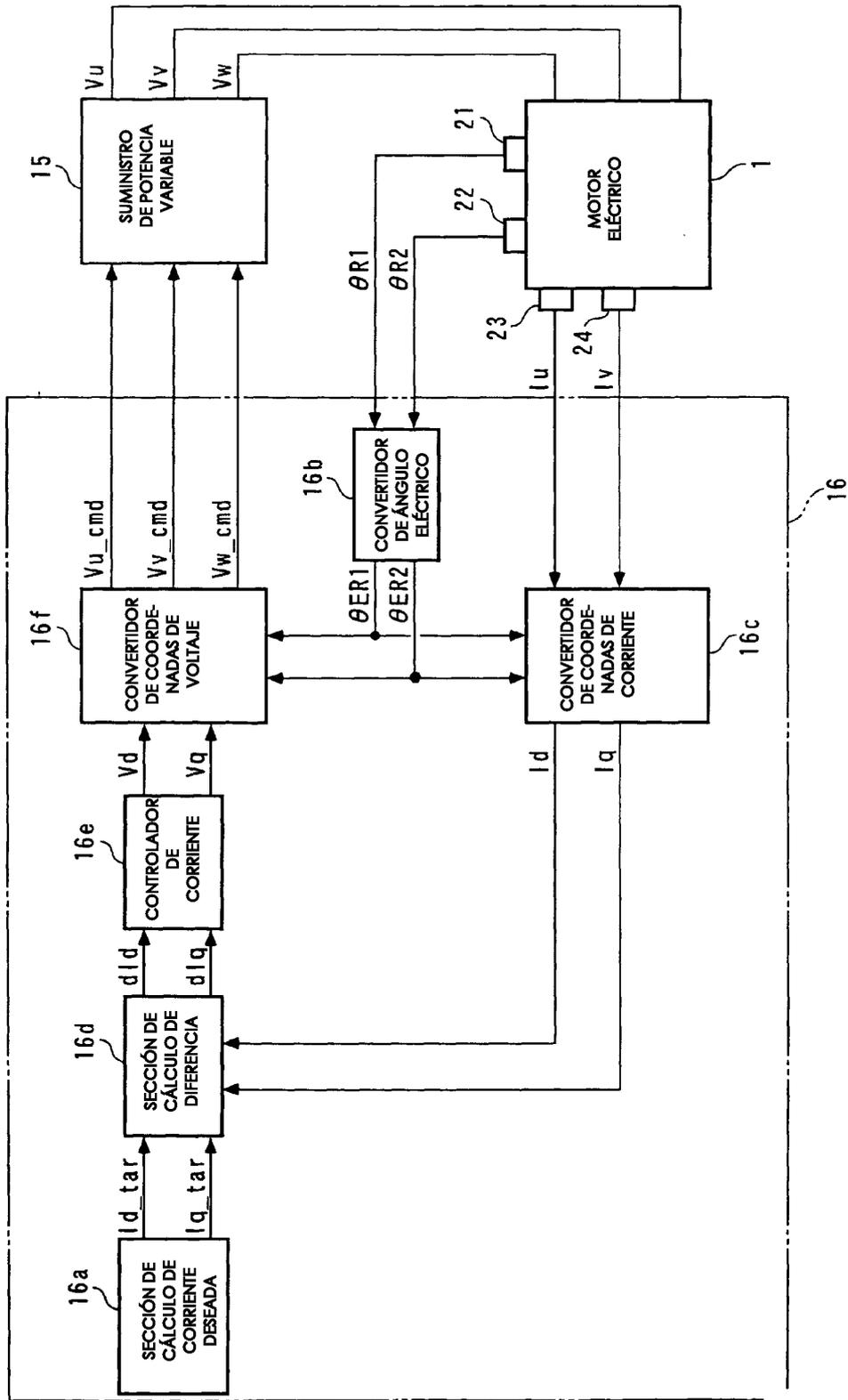


FIG. 3

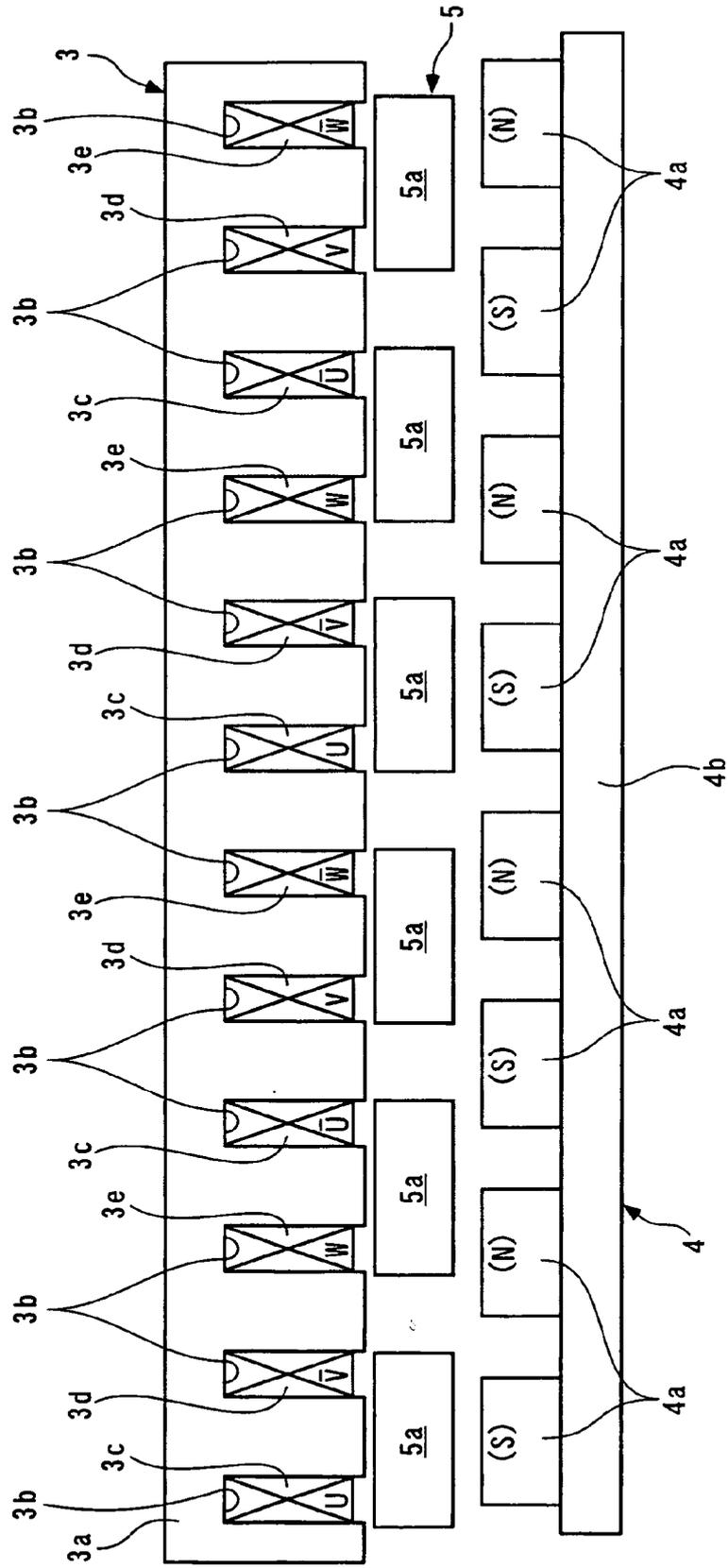


FIG. 4

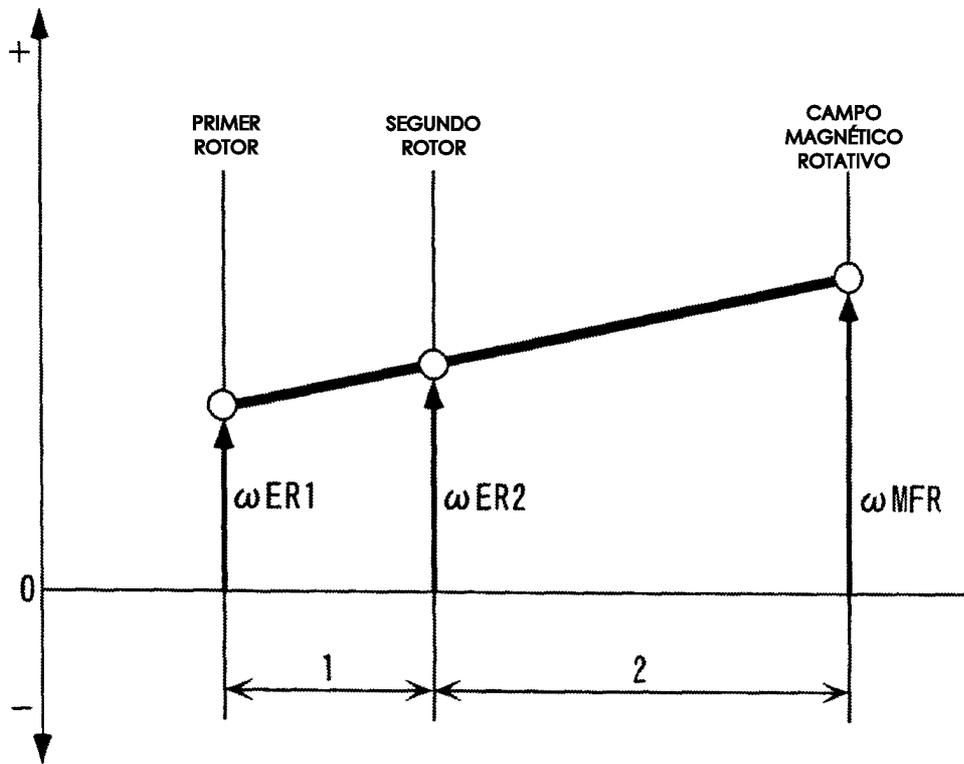


FIG. 5

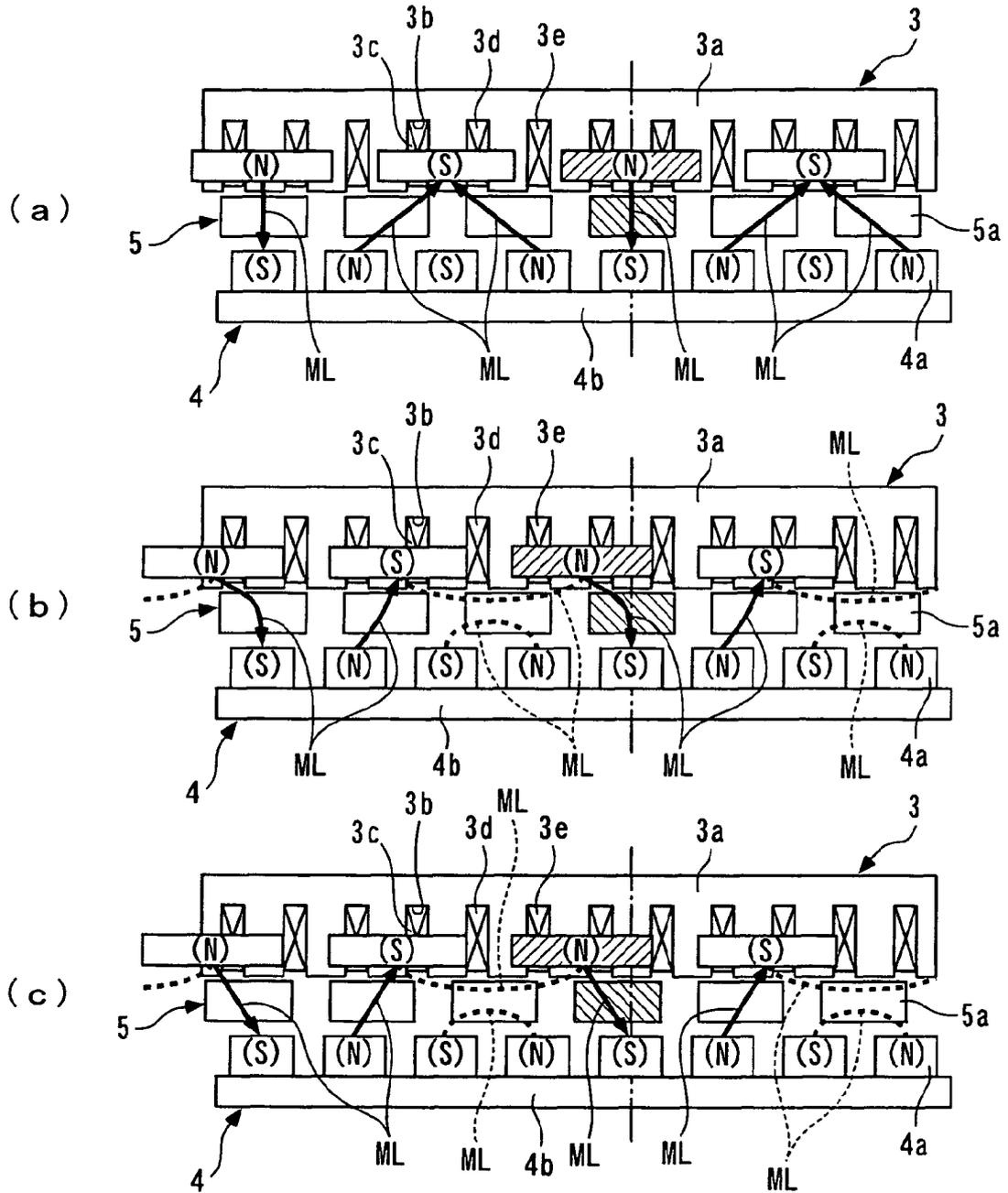


FIG. 6

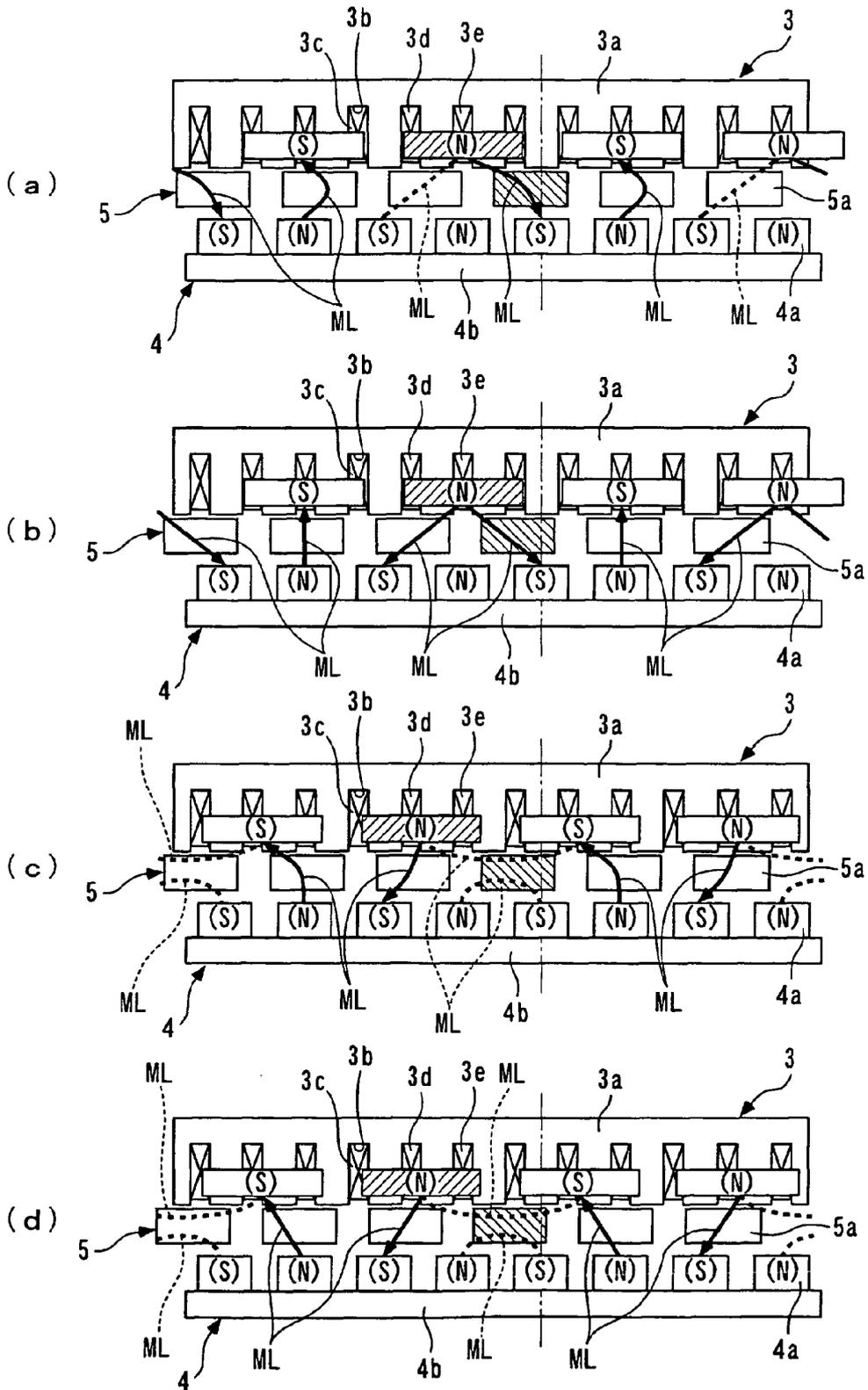


FIG. 7

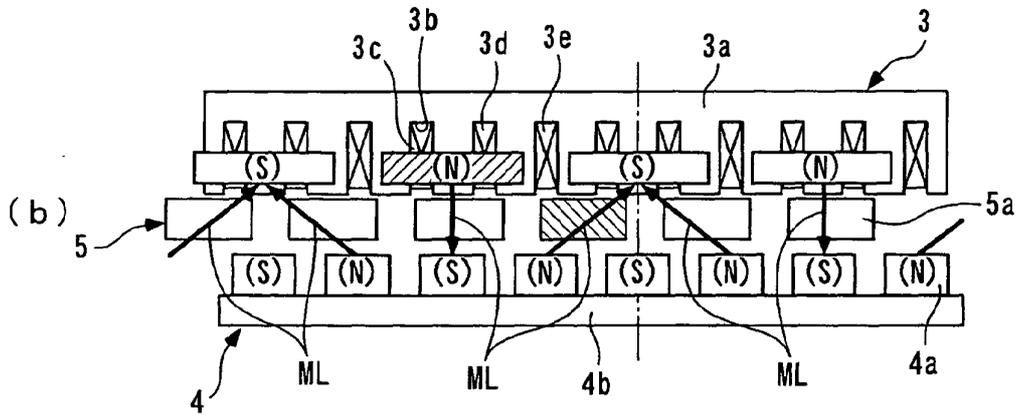
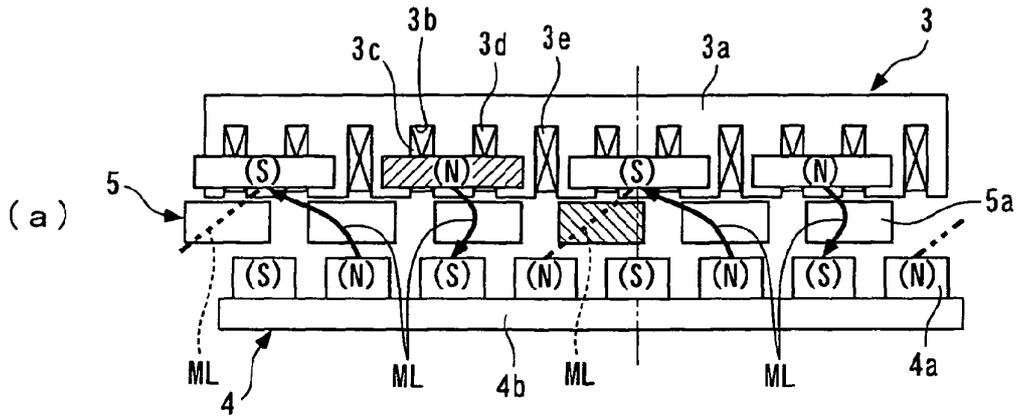


FIG. 8

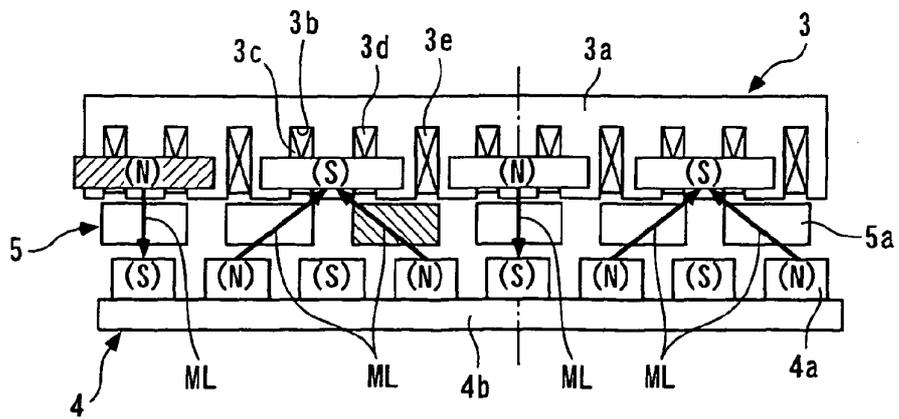


FIG. 9

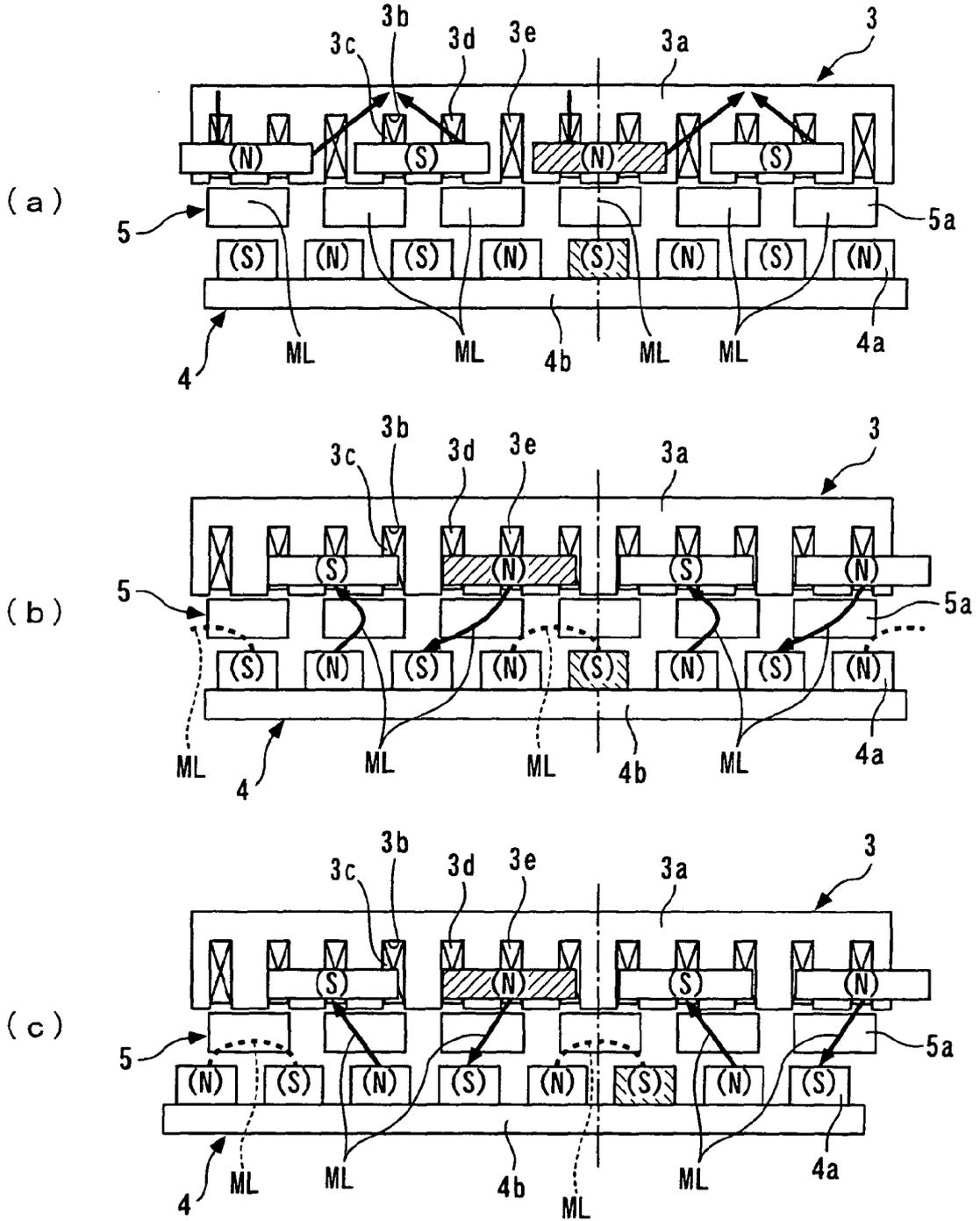


FIG. 10

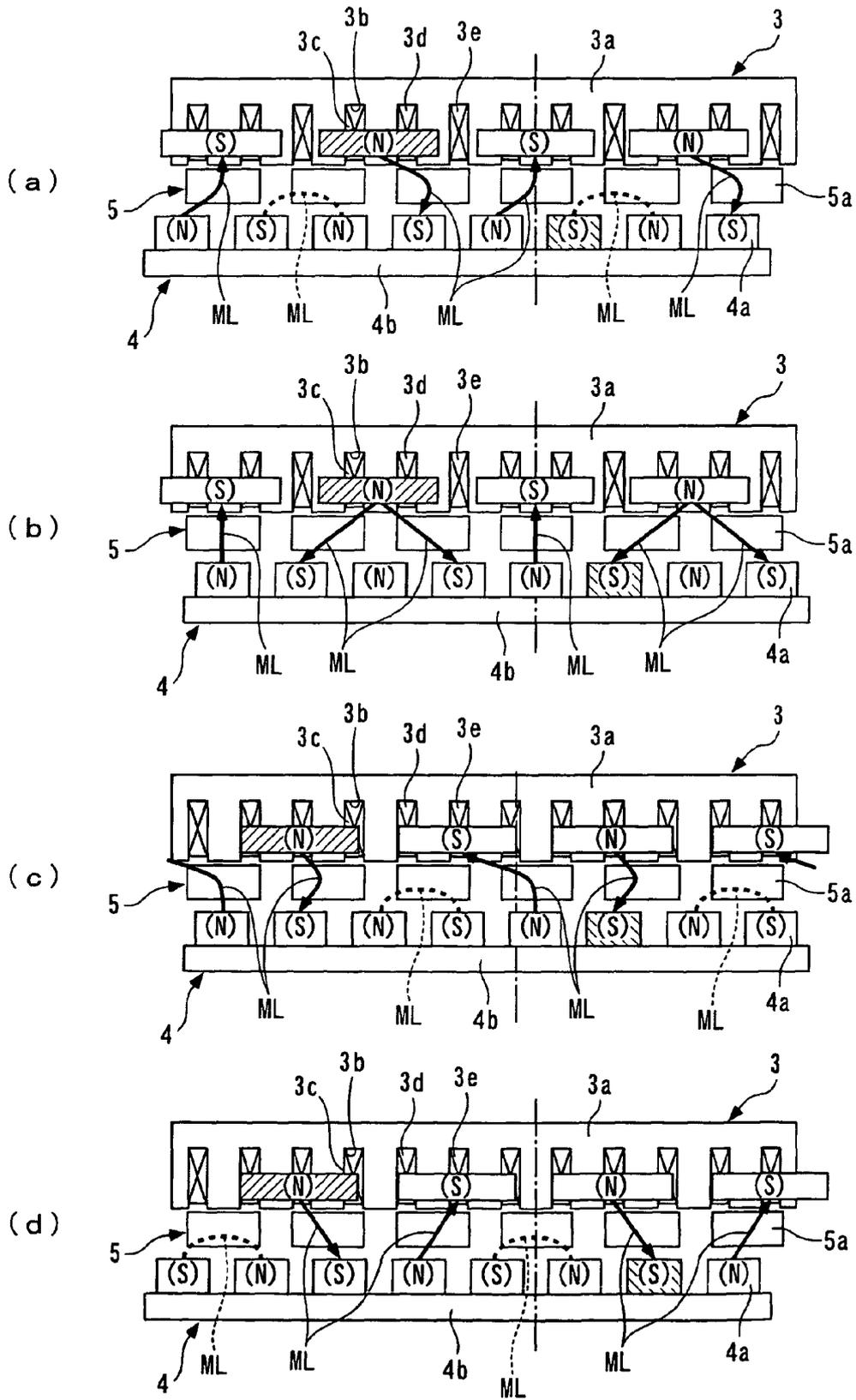


FIG. 11

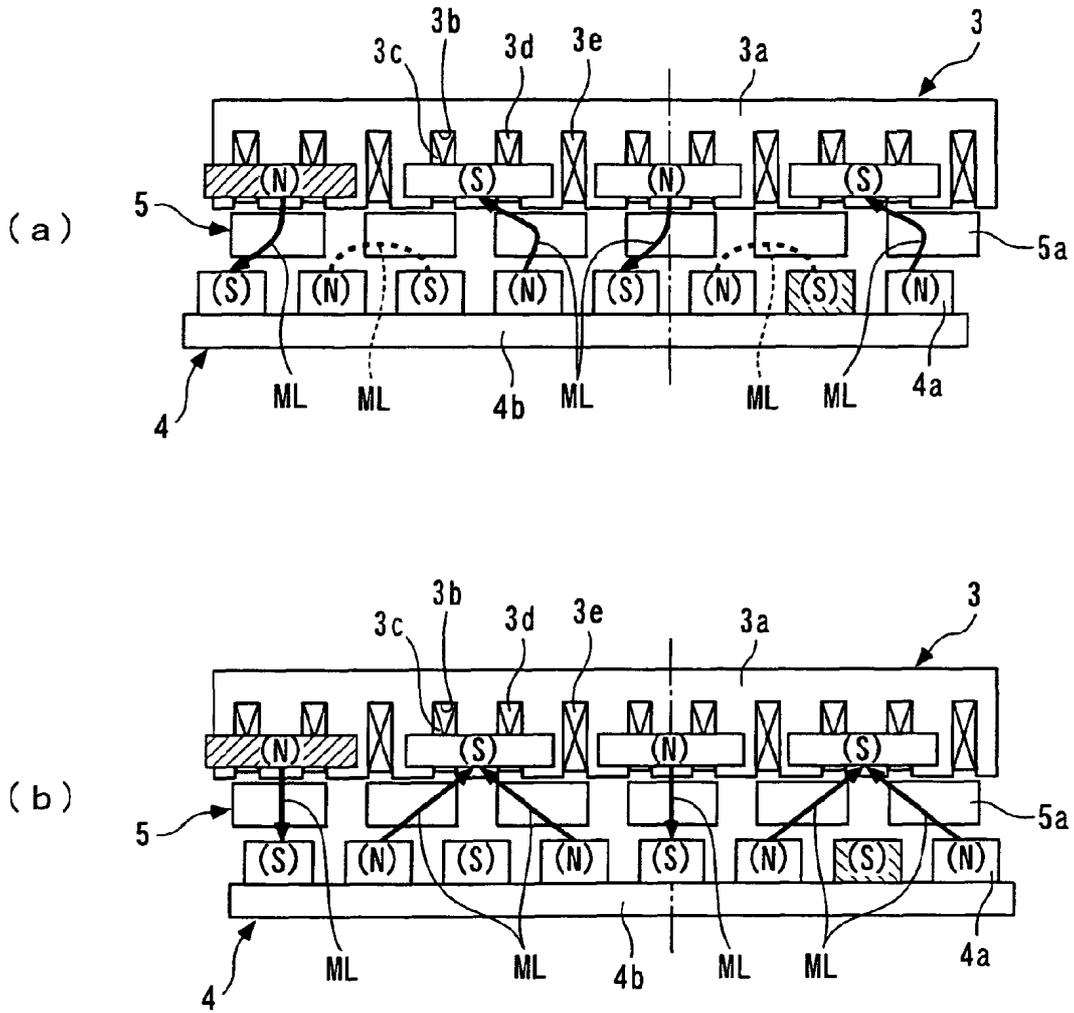


FIG. 12

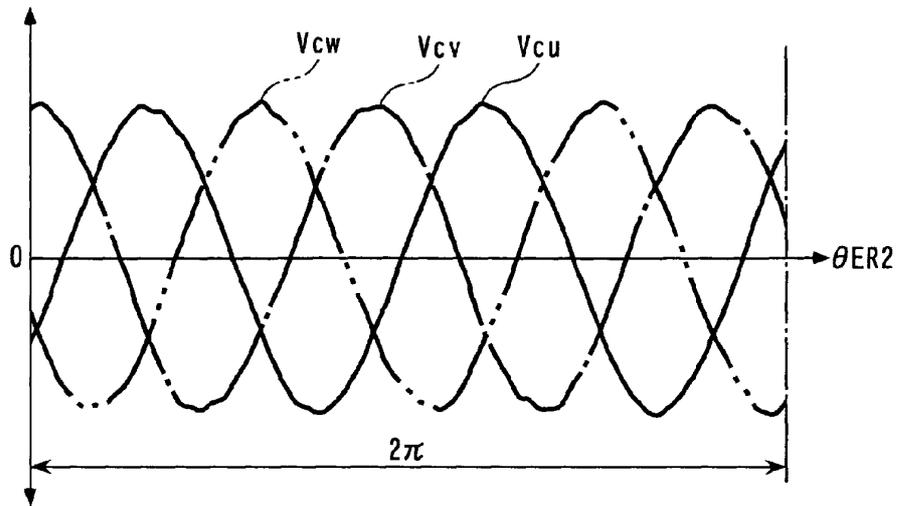


FIG. 13

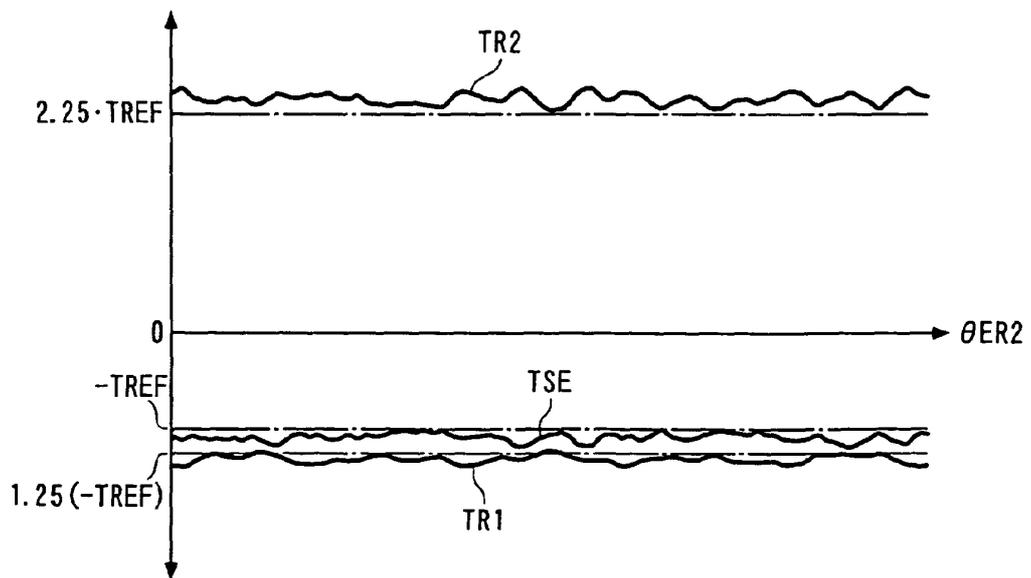


FIG. 14

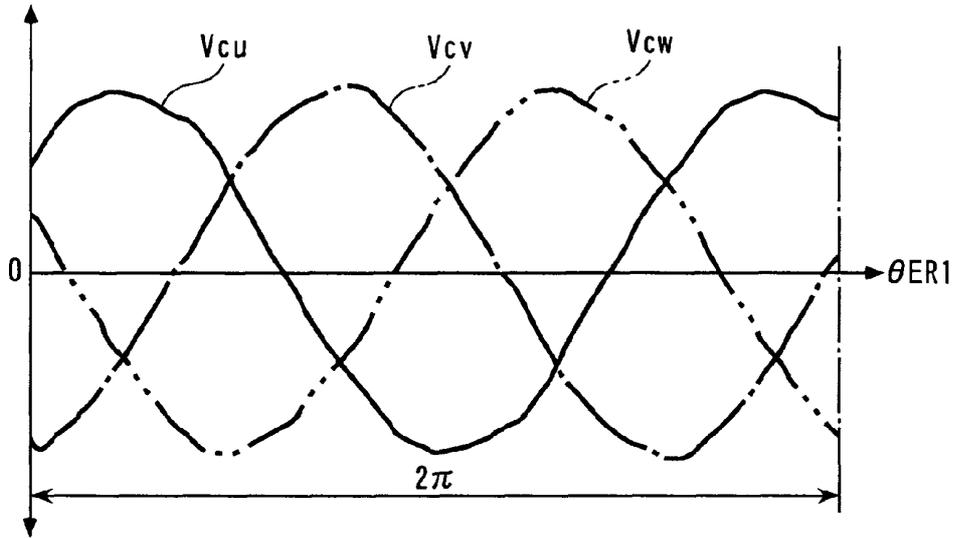


FIG. 15

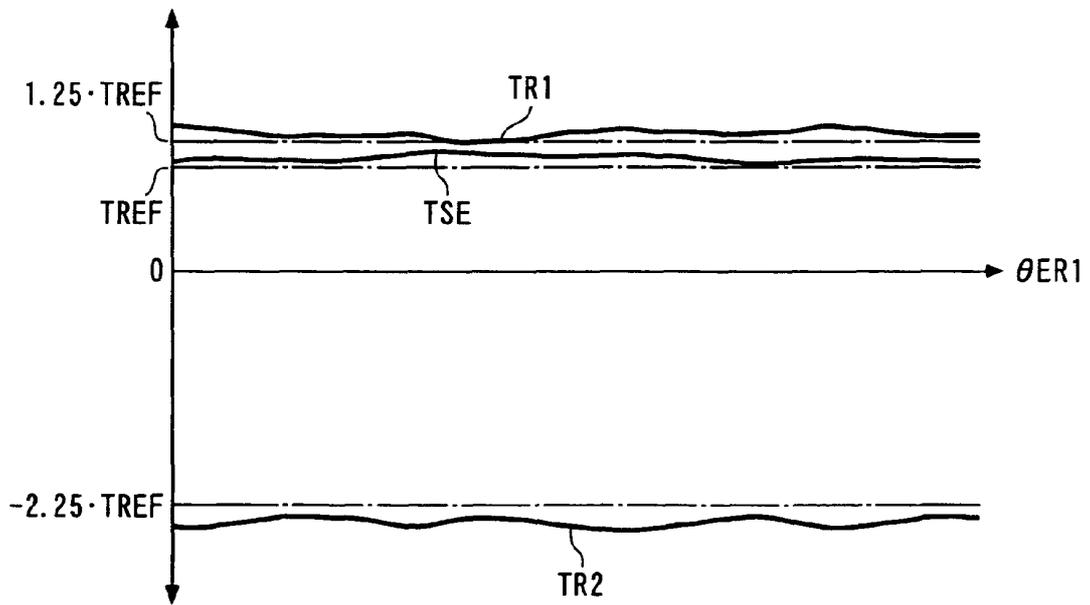


FIG. 16

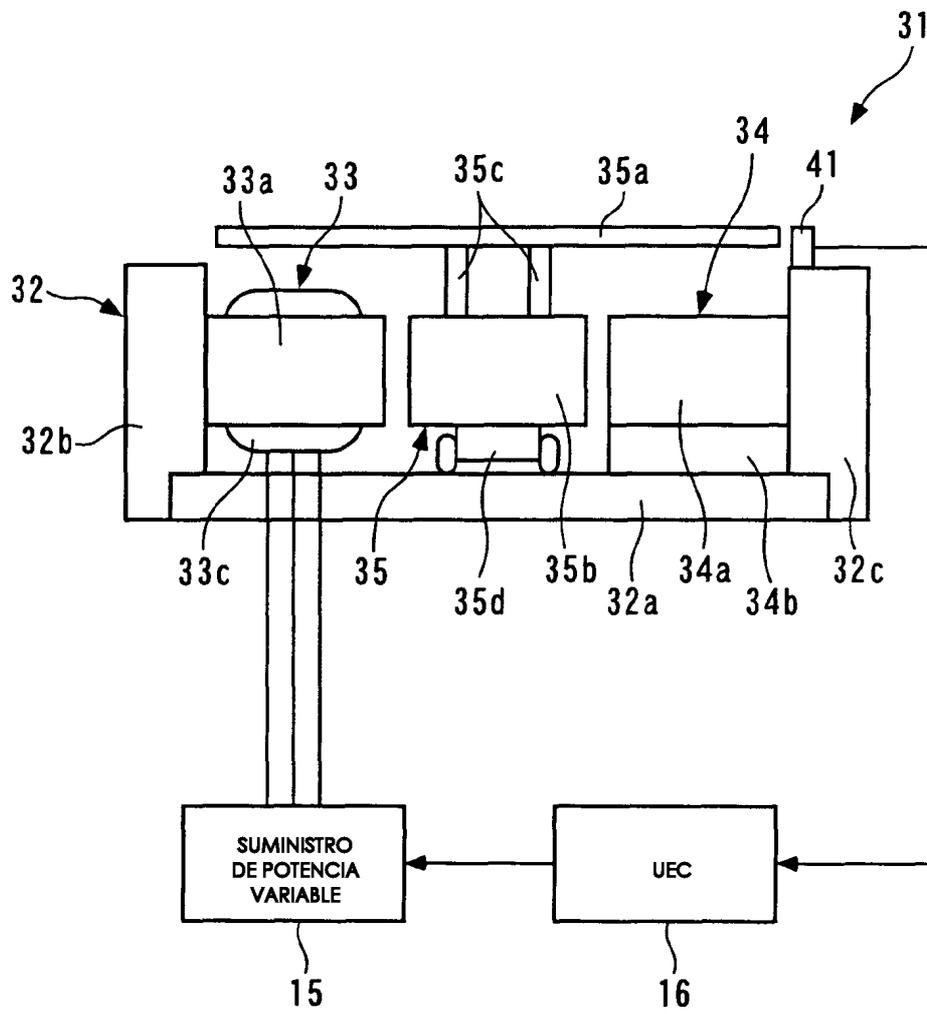


FIG. 17

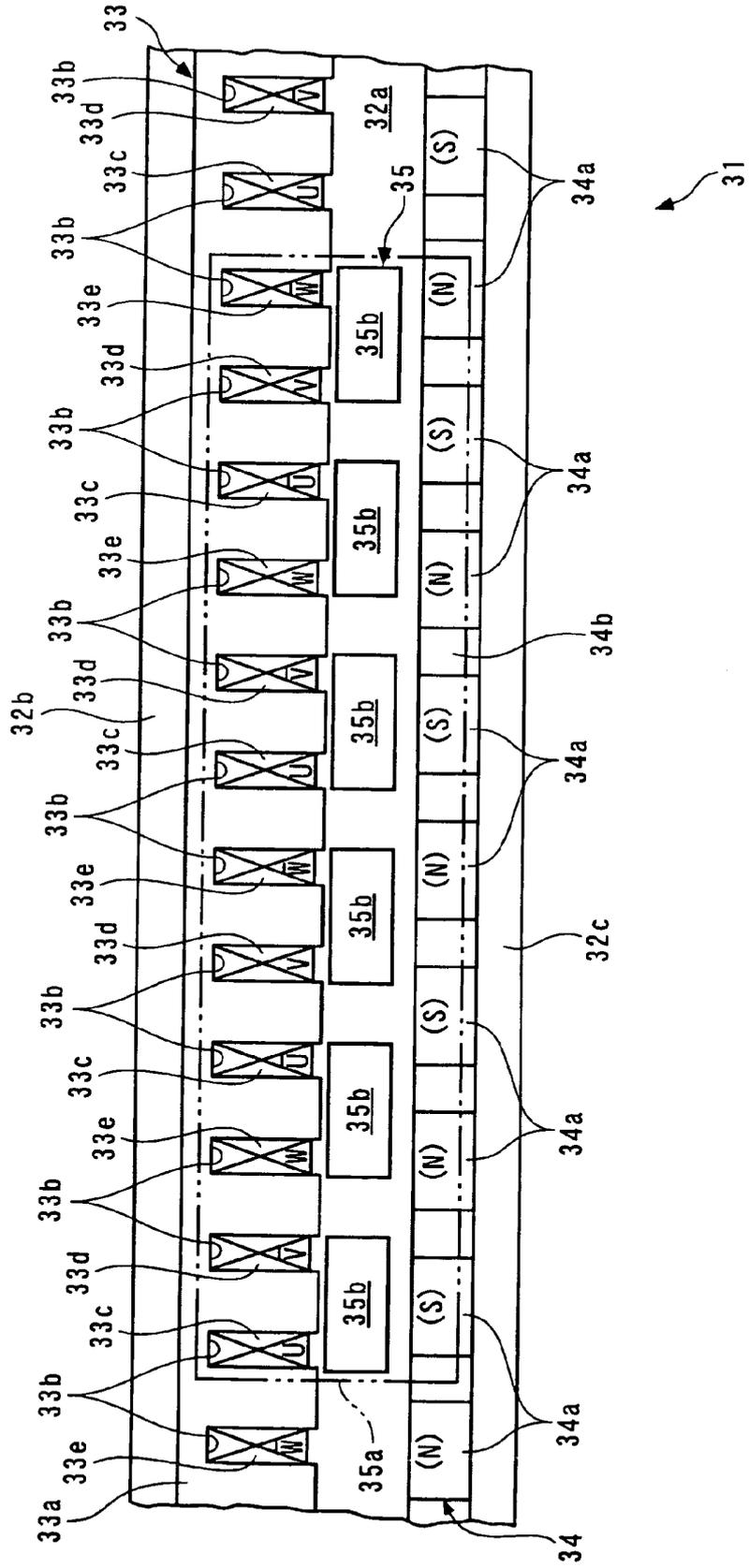


FIG. 18

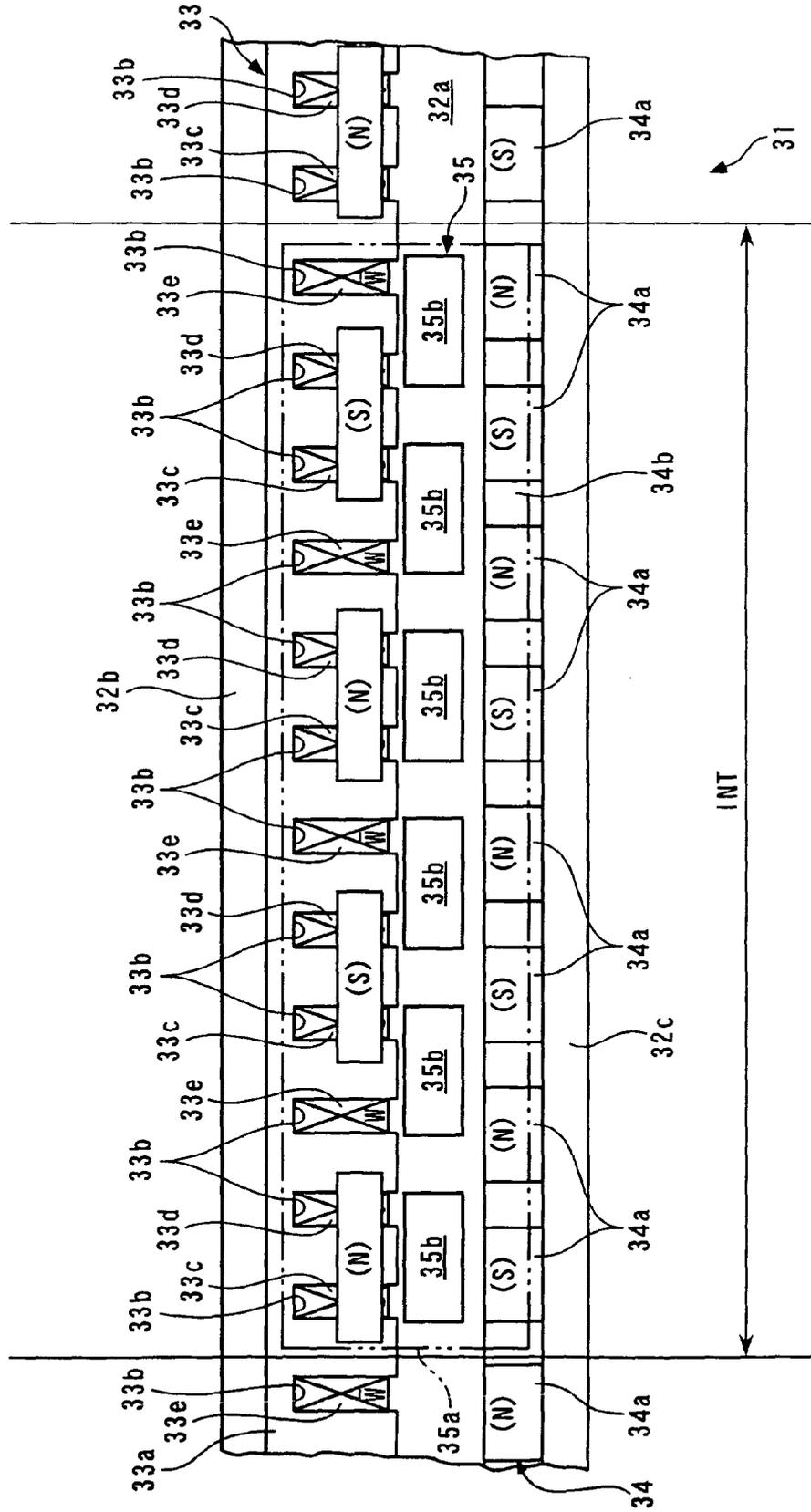


FIG. 19

