

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 330**

51 Int. Cl.:

**H02K 1/26** (2006.01)

**H02K 1/16** (2006.01)

**H02K 17/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2009 E 09166222 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2015 EP 2149964**

54 Título: **Generador síncrono y sistema de generador síncrono**

30 Prioridad:

**29.07.2008 JP 2008195093**

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

**05.06.2015**

73 Titular/es:

**HITACHI, LTD. (100.0%)  
6-6, MARUNOUCHI 1-CHOME CHIYODA-KU  
TOKYO 100-8280, JP**

72 Inventor/es:

**SAWAHATA, MASANORI;  
NISHIHAMA, KAZUO;  
MIKAMI, HIROYUKI;  
FUJIGAKI, TETSUO;  
IIZUKA, MOTONOBU y  
MIZUTANI, SHUJI**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 537 330 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

Generador síncrono y sistema de generador síncrono

5 La presente invención está relacionada con un generador síncrono y un sistema de generador síncrono accionado por un molino de viento.

10 Con el fin utilizar un generador síncrono excitado por corriente alterna en un sistema de generación de potencia eólica, es esencial reducir el peso del generador síncrono excitado por corriente alterna, en comparación con los antagonistas convencionales. El requisito de la reducción de peso procede de la razón siguiente. Cuando se construye un sistema de generación de potencia eólica, el generador debe ser elevado hasta la barquilla por medio de una grúa. En un sistema de generación de potencia eólica que utilice un molino de viento de gran tamaño, la barquilla está situada a más de 100 metros por encima del nivel del suelo. Como la resistencia y por tanto el diámetro de la columna que soporta el molino de viento se determina por el peso del generador, la reducción de peso del generador se toma en mucha más consideración para el sistema de generación de potencia eólica que para los demás tipos de sistemas generadores de potencia.

20 Una manera de reducir el peso de un generador síncrono excitado por corriente alterna es reducir la longitud de la separación aérea entre el estator y el rotor. La reducción de la separación aérea conduce a reducir la resistencia magnética de la separación aérea, de manera que se puede disminuir la corriente de excitación que fluye a través del devanado de campo. Consecuentemente, puede disminuirse el área de la sección transversal del conductor del devanado de campo, de manera que el generador resultante puede disminuirse en tamaño y peso.

25 Sin embargo, si se reduce la separación aérea, el cambio espacial de la resistencia magnética de la separación aérea se hace grande debido a la existencia de ranuras en el estator y el rotor, de manera que se refuerza la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura.

30 El documento JP-A-3-270664 divulga una técnica que está diseñada para mejorar la forma de onda de la corriente de la armadura, donde los números de las ranuras en el estator y el rotor y los pasos del devanado del estator y el rotor están optimizados para mejorar la forma de onda.

35 El documento JP-A-7-15901 divulga una técnica diseñada para mejorar la forma de onda de la corriente de la armadura, donde los pasos del devanado se eligen de manera que se pueden minimizar los factores del devanado relativos a los armónicos más altos asociados con las ranuras.

40 El documento JP-A-2005-304271 divulga una técnica para suprimir la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura, haciendo el número de ranuras igual a  $\pm 6$  por cada dos polos del estator menos el número de ranuras por cada dos polos del rotor.

45 De acuerdo con la técnica divulgada en el documento JP-A-03-270664, el devanado del estator tiene forma de devanado de ranuras fraccionadas, para suavizar la forma de onda de las tensiones de salida. Sin embargo, el efecto de reducir la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura es a veces pequeño en una máquina eléctrica rotativa con devanado del estator con ranuras fraccionadas.

50 Un generador síncrono excitado por corriente alterna tiene generalmente la misma estructura que las máquinas de inducción del tipo de rotor devanado convencional. Y las técnicas divulgadas en los documentos JP-A-7-15901 y JP-A-2005-304271 emplean ambas los valores recomendados en el diseño de máquinas de inducción convencionales que se divulgan en el artículo "Transformers, Induction machines and AC commutator machines", ("Transformadores, máquinas de inducción y máquinas de conmutación de corriente alterna") del Grupo de Educación de Comunicaciones del IEEJ, página 112, 1967. Consecuentemente, el valor que indica el número de ranuras por cada dos polos en el estator menos el número de ranuras por cada dos polos del rotor se fija entre +6 y -6. Por otra parte, los inventores de la presente invención han revelado el hecho de que la influencia de los armónicos más altos en la forma de onda de la corriente de la armadura parece disminuir a medida que la cantidad absoluta de este valor se hace más grande. Por tanto, parece que debe considerarse que la influencia de los armónicos más altos en la forma de onda de la corriente de la armadura no puede ser suprimida de manera suficiente, es decir, la forma de onda de la corriente de la armadura no puede ser suavizada suficientemente, si este valor se mantiene entre +6 y -6.

60 El objeto de la presente invención es proporcionar un generador síncrono excitado por corriente alterna que pueda reducir la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura, y tal generador síncrono excitado por corriente alterna para uso en un sistema de generación de potencia eólica.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un generador síncrono como se define en la reivindicación 1. Se describirán a continuación modos de realización de la presente invención con referencia a los dibujos anexos.

La figura 1 muestra en sección transversal las partes principales de un generador síncrono excitado por corriente alterna, de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 es una tabla que lista los diversos valores del número de ranuras por cada dos polos en el estator, menos el número de ranuras por cada dos polos en el rotor, calculados cuando el número  $N_{pp}$  de ranuras por cada polo y por cada fase ya sea del estator o bien del rotor, cae dentro de una gama de 3 ~ 7;

la figura 3 muestra la relación entre el cociente (factor  $f_{pKB}$  del devanado de paso corto del estator) / (orden  $k_B$  del armónico más alto), y el orden  $k_B$  del armónico más alto;

las figuras 4A y 4B muestran la relación entre el valor del número  $N_1$  de ranuras por cada dos polos en el estator, menos el número  $N_2$  de ranuras por cada dos polos en el rotor, y las magnitudes de los componentes de armónicos más altos;

la figura 5 muestra gráficamente la relación entre la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de los polos del rotor en un generador síncrono excitado por corriente alterna, con el valor  $N_1 - N_2$  igual a  $\pm 12$  y el factor de inclusión de corrientes de armónicos más altos, habiéndose observado la relación como el resultado de la medición real;

la figura 6 muestra una tabla que lista los valores del paso del devanado de la armadura y los correspondientes valores de la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator en un generador síncrono excitado por corriente alterna, donde el número  $N_{spp}$  de ranuras por polo y por fase del estator es tal que  $3 \leq N_{spp} \leq 7$ , el número de polos es igual o inferior a 12, y el número de ranuras en el estator es igual o inferior a 144;

la figura 7 muestra gráficamente la relación entre el factor de pulsación del flujo magnético y la relación de la anchura  $s$  de la abertura de la ranura en el rotor, con respecto a la longitud  $g$  de la separación;

la figura 8 muestra la forma de la ranura del rotor en un generador síncrono excitado por corriente alterna, como un modo de realización de este modo de realización;

la figura 9 muestra la forma de una ranura de rotor semi-cerrada circunferencialmente simétrica;

la figura 10 muestra la forma de una ranura de rotor abierta circunferencialmente simétrica;

la figura 11 muestra las formas de la ranura del estator y las ranuras del rotor teniendo dispuestas unas cuñas magnéticas en sus aberturas, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención;

la figura 12 muestra esquemáticamente toda la estructura de un sistema de generador síncrono excitado por corriente alterna, de acuerdo con el quinto modo de realización;

la figura 13 muestra esquemáticamente toda la estructura de un sistema de generador síncrono excitado por corriente alterna, de acuerdo con el sexto modo de realización; y

la figura 14 muestra gráficamente la relación entre el tamaño y el número de polos de un generador síncrono excitado por corriente alterna.

35 Primer modo de realización

Se describirá a continuación el primer modo de realización de la presente invención. En el primer modo de realización de la presente invención, la forma de onda de la corriente de la armadura se suaviza controlando el valor que indica el número de ranuras por cada dos polos en el estator, menos el número de ranuras por cada dos polos en el rotor.

40 La figura 1 muestra en sección transversal las partes principales de un generador síncrono excitado por corriente alterna, de acuerdo con la presente invención. En la figura 1, un generador síncrono 1 excitado por corriente alterna comprende un estator 10, un rotor 20 y un devanado 13 de la armadura y un eje giratorio 25.

45 El devanado 13 de la armadura comprende lados inferiores 131 de bobina, lados superiores 132 de bobina y extremos 133 de bobina. Los extremos 133 de bobina conectan eléctricamente los lados inferiores 131 de bobina y los lados superiores 132 de bobina.

50 El estator 10 tiene los lados inferiores 131 de bobina y los lados superiores 132 de bobina insertados en las ranuras 12 del estator cortadas en un núcleo 11 de hierro del estator e inmovilizadas por medio de cuñas 14 del estator. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, tanto los lados inferiores 131 de bobina como los lados superiores 132 de bobina del devanado 13 de la armadura se observan etiquetados desde #1 hasta #90 en dirección contraria a las agujas del reloj.

55 El rotor 20 tiene un devanado 23 de campo insertado en las ranuras 22 del rotor cortadas en un núcleo 21 de hierro de la armadura e inmovilizados por medio de cuñas 24 del rotor. El eje giratorio 25 está ajustado en el núcleo 21 de hierro del rotor. Como se ilustra en la figura 1, los extremos de bobina del devanado 23 de campo se observan etiquetados desde #1' hasta #54' en dirección contraria a las agujas del reloj.

60 Con el generador síncrono 1 excitado por corriente alterna se efectúa la generación de potencia, es decir, se hace que fluya la corriente de la armadura a través del devanado 13 de la armadura, girando el eje 25 por medio de una fuerza giratoria impartida en él mientras la corriente de excitación fluye a través del devanado 23 de campo. La frecuencia de la corriente de la armadura generada varía dependiendo de la velocidad de rotación del rotor 20 y también de la frecuencia de la corriente de excitación que fluye a través del devanado 23 de campo. Aún en el caso

de que un molino de viento excite el eje giratorio 25 como en los sistemas de generación de potencia eólica y por tanto la velocidad de rotación del rotor 20 cambia continuamente, la frecuencia de la corriente generada puede mantenerse en un valor fijo controlando la frecuencia de la corriente de excitación que fluye a través del devanado 23 de campo.

5 Máquina eléctrica giratoria trifásica

Se describe ahora cómo se diseña una máquina eléctrica giratoria trifásica. El artículo extraído de "Electric Machinery (I)" del Tratado de Ingeniería Eléctrica Aplicada, de Sakutaro Nonaka, publicado por Morikita Publishing Co. Ltd., página 227 (1973), recomienda en el diseño de una máquina eléctrica giratoria trifásica que el número  $N_{pp}$  de ranuras por polo y por fase, ya sea en el estator o en el rotor, debe fijarse dentro de una gama dada por la desigualdad siguiente (1)

$$3 \leq N_{pp} \leq 7$$

15 La figura 2 es una tabla que lista los diversos valores que indican el número  $N_1$  de ranuras por cada dos polos en el estator, menos el número  $N_2$  de ranuras por cada dos polos en el rotor (en adelante denominado como "valor de  $N_1 - N_2$ ") calculado cuando el número  $N_{pp}$  de ranuras por polo y por fase en el estator o en el rotor resida dentro de una gama dada por la desigualdad (1) anterior. Se comprende por la figura 2 que los valores máximo y mínimo de  $N_1 - N_2$  calculados cuando  $N_{pp}$  cae dentro de la gama dada por la desigualdad (1) son +24 y -24, respectivamente.

**Valor de  $N_1 - N_2$**

25 Se hará ahora una descripción concreta del valor de  $N_1 - N_2$ .

En el diseño de un máquina de inducción se recomienda fijar el número total  $n_1$  de ranuras en el estator y el número total  $n_2$  de ranuras en el rotor dentro de una gama dada por la desigualdad (2) siguiente que se describe en "Transformers, Induction machines and AC commutator machines", ("Transformadores, máquinas de inducción y máquinas de conmutación de corriente alterna") del Grupo de Educación de Comunicaciones del IEEJ, página 112, 1967.

$$(2) \quad 0,80n_1 \leq n_2 \leq 1,25n_1$$

35 El valor de  $N_1 - N_2$  oscila entre +6 y -6 cuando se calcula bajo la condición dada por la desigualdad (2) anterior. En general, como los generadores síncronos excitados por CA son casi iguales en estructura que las máquinas de inducción del tipo de rotor devanado, han sido diseñadas empleando el valor antes recomendado de  $N_1 - N_2$ .

De igual manera, en el diseño de los generadores síncronos excitados por CA, el valor de  $N_1 - N_2$  se ha fijado generalmente entre +6 y -6, de acuerdo con la condición dada por la desigualdad (2) anterior.

40 Obtención de la expresión que da la corriente que fluye a través del devanado de la armadura

Se obtendrá ahora la expresión que da la corriente  $I$  de la armadura que fluye a través del devanado 13 de la armadura. En este caso, la expresión para dar la corriente  $I$  de la armadura se obtiene con la consideración simplificada de los efectos relacionados con la fase. En primer lugar, representemos la fuerza magneto-motriz (mmf)  $AT$  asociada con los componentes de frecuencia de la corriente  $I$  de la armadura que fluye a través del devanado de la armadura por la expresión:

$$AT \propto \sum_k f_{wk}/k \cos(kx \mp \omega_0 t) \quad (3)$$

50 donde  $x$  se fija en el sistema de coordenadas del estator y toma un valor de  $2\pi$  por cada dos polos;  $\omega_0$  es la frecuencia angular correspondiente a la velocidad síncrona;  $t$  el tiempo;  $k$  el orden de la mmf; y  $f_{wk}$  el factor de devanados del estator para la onda del armónico de orden  $k$ .

55 el factor  $f_{wk}$  de devanados del estator viene dado por las expresiones (4), (5) y (6) siguientes:

$$f_{wk} = f_{pk} \times f_{dk} \quad (4)$$

$$f_{pk} = \sin(pk\pi/2) \quad (5)$$

$$f_{dk} = \sin(k\pi/2q)/(n \times \sin(k\pi/2N_{spp}q)) \quad (6)$$

5 donde  $f_{pk}$  es el factor del devanado de paso corto del estator;  $f_{dk}$  es el factor del devanado distribuido del estator;  $p$  es la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de los polos del estator;  $q$  es el número de fases en el estator; y  $N_{spp}$  es el número de ranuras por polo y por fase del estator.

10 Representemos la distribución espacial  $P$  de la permeabilidad, que es el valor recíproco de la resistencia magnética, por la expresión (7) siguiente, teniendo en consideración el cambio espacial de la resistencia magnética debida a las ranuras del rotor y del estator.

$$P \propto (1+K_1 \cos N_1x) \times (1+K_2 \cos N_2(x-(1-s)\omega_0t)) \quad (7)$$

15 donde  $K_1$  es el factor de pulsación de la permeabilidad debida a las ranuras del estator;  $K_2$  el factor de pulsación de la permeabilidad debida a las ranuras del rotor, y  $s$  el deslizamiento. La densidad  $B$  de flujo magnético es proporcional al producto de la fuerza magneto-motriz  $AT$  por la permeabilidad  $P$ , y puede ser representada por la expresión (8) siguiente.

$$B \propto AT \times P \quad (8)$$

20 La densidad  $B$  de flujo magnético se integra después espacialmente, y si se tiene en consideración el factor del devanado de paso corto del estator, el flujo magnético  $\Phi$  que enlaza el devanado 13 de la armadura se supone que viene dado por la expresión (9)

$$\Phi \propto B \times f_{pkB} / k_B \quad (9)$$

25 donde  $k_B$  es el orden del armónico espacial más alto de la densidad  $B$  de flujo magnético, y  $f_{pkB}$  es el factor del devanado del estator para el armónico de orden  $k_B$  de la densidad  $B$  de flujo magnético.

30 El flujo magnético  $\Phi$  se integra después en el tiempo, y la fuerza electromotriz  $E$  inducida en el devanado 13 de la armadura se supone que se representa por medio de la expresión (10) siguiente.

$$E \propto (B \times f_{pkB} / k_B) \times v_B \quad (10)$$

35 donde  $v_B$  es el orden del armónico más alto dependiente del tiempo de la densidad  $B$  de flujo magnético.

Si se supone que la corriente  $I$  de la armadura es igual a (fuerza electromotriz inducida  $E$ ) / (reactancia) y si se supone que la reactancia es proporcional al orden  $v_B$  del armónico más alto dependiente del tiempo de la densidad  $B$  de flujo magnético, entonces puede suponerse que la corriente  $I$  de la armadura viene dada por la expresión (11) siguiente.

$$40 \quad I \propto ((B \times f_{pkB} / k_B) \times v_B) / v_B = AT \times P \times f_{pkB} / k_B \quad (11)$$

45 La figura 3 muestra la relación entre el cociente, es decir (factor  $f_{pkB}$  del devanado de paso corto del estator) / (orden  $k_B$  del armónico más alto), y el orden  $k_B$  del armónico más alto. Como la corriente  $I$  de la armadura es proporcional al cociente, como se observa en la expresión (11), entonces en la figura 3 se considera que la corriente  $I$  de la armadura aumenta a medida que aumenta el valor del cociente.

50 La relación ilustrada en la figura 3 revela que la corriente  $I$  de la armadura generada cuando el orden  $k_B$  del armónico más alto es igual a la unidad, se hace tan grande que la corriente  $I$  de la armadura generada cuando el orden  $k_B$  es distinto a la unidad, es despreciable. Por tanto, de aquí en adelante se considerará solamente el componente del armónico más alto de la corriente de la armadura que se corresponde con  $k_B = 1$ .

Los inventores de la presente invención han obtenido las expresiones ofrecidas a continuación, poniendo atención a los componentes de los armónicos más altos relacionados con el valor de  $N_1 - N_2$ .

- 5 Si se sustituyen las expresiones (3) y (7) ofrecidas anteriormente en la expresión (11) dada, y si solamente se considera el componente del armónico más alto con respecto al valor de  $N_1 - N_2$ , entonces en el caso en que  $N_1 > N_2$ , se puede modificar la expresión (11) en la expresión (12), como sigue.

$$\begin{aligned}
 I \propto & (f_{w(|N_1 - N_2| - 1)} K_1 K_2 f_{p1} / (|N_1 - N_2| - 1) / 4) \\
 & \times \cos(x - (1 + N_2(1-s)) \omega_0 t) \\
 & + (f_{w(|N_1 - N_2| + 1)} K_1 K_2 f_{p1} / (|N_1 - N_2| + 1) / 4) \\
 & \times \cos(x - (1 + N_2(1-s)) \omega_0 t)
 \end{aligned} \tag{12}$$

10

Por otra parte, para  $N_1 < N_2$ , la expresión (11) puede ser modificada en la expresión (13) como sigue.

$$\begin{aligned}
 I \propto & (f_{w(|N_1 - N_2| - 1)} K_1 K_2 f_{p1} / (|N_1 - N_2| - 1) / 4) \\
 & \times \cos(x - (1 - N_2(1-s)) \omega_0 t) \\
 & + (f_{w(|N_1 - N_2| + 1)} K_1 K_2 f_{p1} / (|N_1 - N_2| + 1) / 4) \\
 & \times \cos(x - (1 - N_2(1-s)) \omega_0 t)
 \end{aligned} \tag{13}$$

- 15 A partir de las expresiones (12) y (13), se comprende que la pulsación de la corriente de salida da como resultado los componentes armónicos más altos atribuibles al valor de  $N_1 - N_2$ .

La figura 4 muestra la relación entre los valores de  $N_1 - N_2$  y las magnitudes de los componentes armónicos más altos que resultan de los primeros términos de las expresiones (12) y (13), y la figura 4B muestra la relación entre los valores de  $N_1 - N_2$  y las magnitudes de los componentes armónicos más altos que resultan de los segundos términos de las expresiones (12) y (13). En las figuras 4A y 4B, la abscisa indica el valor absoluto de  $N_1 - N_2$ , es decir,  $|N_1 - N_2|$ , y la ordenada indica las magnitudes de los componentes armónicos más altos. Debe observarse que la ordenada, es decir, las magnitudes de los componentes armónicos más altos, está graduada en una cantidad relativa y suponiendo que la magnitud es el 100% cuando el valor  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 6$ .

20 Como puede verse en la figura 4A, los componentes armónicos más altos que resultan de los primeros términos de las expresiones (12) y (13) observados cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es mayor que +6 o menor que -6, se hace menor que el 30% de los observados cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es  $\pm 6$ . Además, como también se observa en la figura 4B, los componentes armónicos más altos que resultan de los segundos términos de las expresiones (12) y (13) observados cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es mayor que +6 o menor que -6, se hace menor que el 30% de los observados cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 6$ .

25 Consecuentemente, con el fin de suprimir la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura, se requiere elegir el número de ranuras de tal manera que el valor de  $N_1 - N_2$  sea mayor que +6 o menor que -6, porque está fuera de la gama recomendada por la desigualdad (2) anterior.

30 Además, se comprende por la figura 2 que las gamas seleccionables del valor de  $N_1 - N_2$  bajo la condición dada por la desigualdad (1) anterior, están entre +9 y +24 y entre -9 y -24.

40 **COMBINACIONES DEL NÚMERO DE RANURAS POR POLO Y POR FASE EN EL ESTATOR Y EL NÚMERO DE RANURAS POR POLO Y POR FASE EN EL ROTOR]**

En este modo de realización, se considerarán ahora los valores de  $N_1 - N_2$  para las cuatro siguientes combinaciones diferentes del número de ranuras por polo y por fase en el estator y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor.

45 **COMBINACIÓN 1:** Caso en el que el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número

de ranuras por polo y por fase en el rotor es también un entero.

COMBINACIÓN 2: Caso en el que el número de ranuras por polo y por fase en el estator es una fracción y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es un entero.

5 COMBINACIÓN 3: Caso en el que el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es una fracción.

10 COMBINACIÓN 4: Caso en el que el número de ranuras por polo y por fase en el estator es una fracción y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es también una fracción.

COMBINACIÓN 1

En esta combinación el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es también un entero.

15 En este caso, se observa en la figura 2 que el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 12$ ,  $\pm 18$  o  $\pm 24$ .

20 Como es evidente por la figura 4, la corriente del armónico más alto generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 12$ ,  $\pm 18$  o  $\pm 24$ , es menor en más de un 30% que la generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 6$ . Esto significa que si el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es también un entero, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reducen en magnitud. Consecuentemente, en tal caso la forma de onda de la corriente de la armadura se puede suavizar.

25 Además, si el número  $N_{pp}$  de ranuras por polo y por fase en una máquina eléctrica giratoria trifásica es un entero, los devanados trifásicos de la máquina eléctrica giratoria son del tipo de devanado de ranuras completas. Como el trabajo de devanar las bobinas se hace más sencillo en el caso en que el número  $N_{pp}$  de ranuras por polo y por fase en estator o en el rotor, en este caso de la COMBINACIÓN 1, se puede esperar la reducción de costes en este caso.

30 MODO DE REALIZACIÓN 1 - 1: ejemplo concreto de número de ranuras del estator y el rotor seleccionado de acuerdo con la COMBINACIÓN 1.

35 La COMBINACIÓN 1 es el caso en que el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es también un entero. Para ser más concreto, en el generador síncrono excitado por corriente alterna ilustrado en la figura 1, el número de ranuras en el estator es 90, el número de ranuras en el rotor es 54, el número de polos es 6 y el número de fases es 3. En este caso, el número de ranuras por polo y por fase en el estator es 5 y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es 3. Además, el número  $N_1$  de ranuras por cada dos polos en el estator es 30, el número  $N_2$  de ranuras por cada dos polos en el rotor es 18, y el valor de  $N_1 - N_2$  es 12. Consecuentemente, como se observa en la figura 4, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reducen en magnitud, de manera que la forma de onda de la corriente de la armadura se puede suavizar.

COMBINACIÓN 2

En esta combinación, el número de ranuras por polo y por fase en el estator es una fracción y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es un entero.

45 En este caso, se observa en la figura 2 que el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 9$ ,  $\pm 15$  o  $\pm 21$ .

50 Como es evidente por la figura 4, la corriente del armónico más alto generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 9$ ,  $\pm 15$  o  $\pm 21$ , es menor en más del 30% que el valor generado cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 6$ . Esto significa que aun cuando el número de ranuras por polo y por fase en el estator sea una fracción y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor sea un entero, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reduce en magnitud. Consecuentemente, en este caso también se puede suavizar la forma de onda de la corriente de la armadura.

55 Si el número  $N_{pp}$  de ranuras por polo y por fase en una máquina eléctrica giratoria trifásica no es un entero, los devanados trifásicos de la máquina eléctrica giratoria son de tipo devanado de ranuras fraccionadas.

COMBINACIÓN 3

60 En esta combinación, el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es una fracción.

En este caso, se observa en la figura 2 que el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 9$ ,  $\pm 15$  o  $\pm 21$ .

Como es evidente por la figura 4, la corriente del armónico más alto generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a

5  $\pm 9$ ,  $\pm 15$  o  $\pm 21$ , es menor en más de un 30% que la generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 6$ . Esto significa que aun cuando el número de ranuras por polo y por fase en el estator sea un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor sea una fracción, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reduce en magnitud. Consecuentemente, en este caso también se puede suavizar la forma de onda de la corriente de la armadura.

10 Como el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero cuando el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es una fracción, no ocurre que el factor de devanado correspondiente al orden del armónico más alto sea igual al valor de  $N_1 - N_2$ , es decir, el componente de la corriente del armónico más alto generado debido al valor de  $N_1 - N_2$  se reduce a cero. Consecuentemente, en este caso se puede suavizar la forma de onda de la corriente de la armadura en mayor medida.

15 MODO DE REALIZACIÓN 1 - 2: ejemplo concreto Núm. 1 con los números de ranuras de estator y rotor seleccionados de acuerdo con la COMBINACIÓN 3.

20 La COMBINACIÓN 3 es el caso en el que el número de ranuras por polo y por fase en el estator es un entero y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es una fracción. Para ser más concretos, el número de ranuras en el estator es 108, el número de ranuras en el rotor es 81, el número de polos es 6, y el número de fases es 3. En este caso, el número de ranuras por polo y por fase en el estator es 6 y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es 4,5. Además, el número  $N_1$  de ranuras por cada dos polos en el estator es 36, el número  $N_2$  de ranuras por cada dos polos en el rotor es 27, y el valor de  $N_1 - N_2$  es 9. Consecuentemente, como se observa en la figura 4, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reducen en magnitud, de manera que la forma de onda de la corriente de la armadura se puede suavizar.

25 MODO DE REALIZACIÓN 1 - 3: ejemplo concreto Núm. 2 con los números de ranuras de estator y rotor seleccionados de acuerdo con la COMBINACIÓN 3.

30 En este MODO DE REALIZACIÓN 1 - 3, el número de ranuras en el estator es 72, el número de ranuras en el rotor es 54, el número de polos es 4, y el número de fases es 3. En este caso, el número de ranuras por polo y por fase en el estator es 6 y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es 4,5. Además, el número  $N_1$  de ranuras por cada dos polos en el estator es 36, el número  $N_2$  de ranuras por cada dos polos en el rotor es 27, y el valor de  $N_1 - N_2$  es 9. Consecuentemente, como se observa en la figura 4, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reducen en magnitud, de manera que la forma de onda de la corriente de la armadura se puede suavizar.

35 COMBINACIÓN 4

En esta combinación, el número de ranuras por polo y por fase en el estator es una fracción y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor es también una fracción.

40 En este caso, se observa en la figura 2 que el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 12$  o  $\pm 18$ .

45 Como es evidente por la figura 4, la corriente del armónico más alto generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 12$  o  $\pm 18$ , es menor en más de un 30% que la generada cuando el valor de  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 6$ . Esto significa que aun cuando el número de ranuras por polo y por fase en el estator sea una fracción y el número de ranuras por polo y por fase en el rotor sea también una fracción, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se reducen en magnitud. Consecuentemente, en este caso también se puede suavizar la forma de onda de la corriente de la armadura.

Segundo modo de realización

50 Se describirá a continuación el segundo modo de realización de la presente invención. En el segundo modo de realización, se suaviza en mayor medida la forma de onda de la corriente de la armadura fijando dentro de una gama descrita más adelante la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator, para el generador síncrono excitado por corriente alterna (con el valor de  $N_1 - N_2$  mayor que +9 y menor que -9).

55 La figura 5 muestra gráficamente la relación entre la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator, para el generador síncrono excitado por corriente alterna, con el valor de  $N_1 - N_2$  igual a  $\pm 12$  y la relación de la inclusión de corrientes de armónicos más altos, con las tres fases cortocircuitadas en el estator, habiendo sido observada la relación como el resultado de la medición real. Se observa en la figura 5 que la relación de inclusión de corrientes de armónicos más altos en la corriente de la armadura del generador síncrono excitado por corriente alterna con el valor de  $N_1 - N_2$  igual a  $\pm 12$ , se hace mínima cuando la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator es igual al 80%. Se observa también que cuando la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator es igual a 86,7%, la relación se hace menor excepto el mínimo con la relación igual al 80%.

Consecuentemente, si la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator es igual al 80% en el generador síncrono excitado por corriente alterna, con el valor de  $N_1 - N_2$  igual a  $\pm 12$ , se puede suavizar la corriente de la armadura.

5 Modo de realización 2 - 1

El generador síncrono excitado por corriente alterna del modo de realización 2 - 1 se construye de tal manera como se muestra en la figura 1, que el lado inferior 131 de bobina y el lado superior 132 de bobina, de cada una de las bobinas del devanado 13 de la armadura, conectados entre sí por medio del extremo 133 de bobina de la armadura, abarca 12 ranuras en el estator. En este caso, 15 ranuras del estator se corresponden con un solo polo. Consecuentemente, la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator es 12/15, es decir, el 80%.

En el caso ejemplar del generador síncrono excitado por corriente alterna ilustrado en la figura 1, el valor  $N_1 - N_2$  es igual a  $\pm 12$ , y como la relación de inclusión de las corrientes de armónicos más altos en la corriente de la armadura del generador síncrono excitado por corriente alterna con el valor de  $N_1 - N_2$  igual a  $\pm 12$ , se hace mínima cuando la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator es igual al 80%, como se ilustra en la figura 5, entonces la corriente de la armadura se puede suavizar también en este modo de realización 4.

La figura 6 muestra una tabla que lista los valores del paso del devanado de la armadura y los correspondientes valores de la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator en el generador síncrono excitado por corriente alterna, donde el número  $N_{spp}$  de ranuras por polo y por fase en el estator es tal que  $3 \leq N_{spp} \leq 7$ , el número de polos es igual o inferior a 12, y el número de ranuras en el estator es igual o inferior a 144.

Aun en el caso en que un generador síncrono excitado por corriente alterna dado tenga el número de ranuras y el número de polos diferentes a los del generador síncrono excitado por corriente alterna ilustrado como modo de realización 2 - 1 en la figura 1, si el generador síncrono excitado por corriente alterna dado tiene los valores del paso del devanado de la armadura y los correspondientes valores de la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator, listados en la tabla ilustrada en la figura 6, entonces los componentes armónicos más altos se pueden reducir en magnitud.

Supóngase en la figura 6 que si el lado superior 132 de bobina #1 y el lado inferior 131 de bobina #13 del devanado de la armadura están eléctricamente conectados entre sí a través del extremo 133 de bobina, el paso del devanado de la armadura se representa como [(1) - (3)].

Si se supone que el paso del devanado de la armadura adquiere los valores dados en la tabla de la figura 6, la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator cae dentro de la gama del 77,8% ~ 88,9%.

Aunque solamente los generadores síncronos excitados por CA en los que el número  $N_{spp}$  de ranuras por polo y por fase en el estator es tal que  $3 \leq N_{spp} \leq 7$ , el número de polos es igual o inferior a 12, y el número de ranuras en el estator es igual o inferior a 144, como se ilustra en la figura 6, se puede esperar el efecto de mejorar la forma de onda de la corriente de la armadura aun cuando un generador síncrono excitado por corriente alterna, cuyos parámetros tomen valores diferentes a los listados en la tabla de la figura 6, si la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator se ajuste dentro de una gama de 77,8% ~ 88,9%.

Alternativamente, manteniendo la relación del paso del devanado de campo con respecto al paso de polos del rotor dentro de una gama de 77,8% ~ 88,9%, puede conducir también a la reducción en las magnitudes de los componentes armónicos más altos.

50 Tercer modo de realización

Se describirá ahora el tercer modo de realización. En este tercer modo de realización, puede reducirse el factor de pulsación del flujo magnético reduciendo la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras en el rotor hasta la longitud de la separación  $g$  en el generador síncrono excitado por corriente alterna (es decir, el generador síncrono excitado por corriente alterna en el que el valor de  $N_1 - N_2$  es igual o mayor que +9 o igual o inferior a -9) de acuerdo con el primer modo de realización, y por tanto se puede mejorar aún más la forma de onda de la corriente de la armadura.

La figura 7 muestra gráficamente la relación entre el factor de pulsación del flujo magnético y la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras en el rotor, con respecto a la longitud  $g$  de la separación. En la figura 7 se observa que si disminuye la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras del rotor con respecto a la longitud  $g$  de la separación, el factor de pulsación del flujo magnético disminuye. Como el factor de pulsación del flujo magnético es proporcional a  $K_2$  en las expresiones (12) y (13) dadas anteriormente, se comprende que la reducción en la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras, con respecto a la longitud  $g$  de la separación conduce a

la reducción en el factor de pulsación del flujo magnético y por tanto que se puede mejorar la forma de onda de la corriente de la armadura.

5 Sin embargo, como se ilustra en la figura 9, si la ranura 22 del rotor tiene la forma de una ranura semi-cerrada circunferencialmente simétrica, con una reducida anchura  $s$  de la abertura de las ranuras, es difícil insertar el conductor del devanado 23 de campo en la ranura 22 durante el proceso de devanado de la bobina, debido a la abertura estrechada de la ranura.

10 Por otra parte, si la ranura tiene la forma de una ranura abierta convencional, como se ilustra en la figura 10, en la cual la longitud  $s$  de la separación se reduce para reducir las dimensiones del generador síncrono excitado por corriente alterna, la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras en el rotor, con respecto a la longitud  $g$  de la separación es alrededor de 6,8 y el factor de pulsación del flujo magnético es alrededor de 0,36, como se observa en la figura 7.

15 Modo de realización 3 - 1

En este modo de realización 3 - 1, la forma de la ranura del rotor en el generador síncrono excitado por corriente alterna está hecha circunferencialmente asimétrica, como se ilustra en la figura 8. En este caso, aun cuando la anchura  $s$  de la abertura de la ranura es pequeña, la separación a través de la cual se devana el devanado 23 de campo es suficientemente ancha.

20 El generador síncrono excitado por corriente alterna del modo de realización 3 -1 emplea una forma de ranura semi-cerrada, como se ilustra en la figura 8. Consecuentemente, la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras en el rotor, con respecto a la longitud  $g$  de la separación es alrededor de 3,4, lo cual es alrededor de la mitad de la correspondiente relación de la ranura abierta. El factor de pulsación del flujo magnético resultante es alrededor de 0,25, como se ilustra en la figura 7.

25 Así, empleando la ranura del rotor con la forma de una ranura semi-cerrada circunferencialmente asimétrica, como en el modo de realización 3 -1, los componentes armónicos más altos de la corriente de la armadura se pueden reducir en el alrededor del 30%, en comparación con la ranura abierta convencional, como se ilustra en la figura 10.

30 En este tercer modo de realización, también es posible disminuir el factor de pulsación del flujo magnético y por tanto mejorar la forma de onda de la corriente de la armadura, reduciendo la relación de la anchura  $s$  de la abertura de las ranuras en el rotor, con respecto a la longitud  $g$  de la separación en el generador síncrono excitado por corriente alterna del segundo modo de realización.

35 Cuarto modo de realización

Se describirá ahora el cuarto modo de realización. En este cuarto modo de realización, la forma de onda de la corriente de la armadura se puede mejorar aún más disponiendo cuñas magnéticas 15 en las aberturas de la ranura 12 del estator y en la ranura 22 del rotor del generador síncrono excitado por corriente alterna (es decir, el generador síncrono excitado por corriente alterna en el que el valor de  $N_1 - N_2$  es igual o mayor que +9 o igual o inferior a -9) de acuerdo con el primer modo de realización.

40 En este cuarto modo de realización, como se ilustra en la figura 11, las cuñas magnéticas 15 se disponen en las aberturas de la ranura 12 del estator y las ranuras 22 del rotor. La provisión de cuñas magnéticas 15 en las aberturas de las ranuras 12 del estator y las ranuras 22 del rotor permite inducir el flujo magnético en las aberturas de las ranuras 12 del estator y las ranuras 22 del rotor, de manera que se puede suprimir la pulsación del flujo magnético para mejorar así la forma de onda de la corriente de la armadura. Además, como esta configuración puede reducir la pérdida del cobre asociada, la pérdida del hierro y la pérdida debida a la carga errática, se puede aumentar el factor de mejora de la forma de onda de la corriente de la armadura. Además, como se puede suprimir la pulsación del flujo magnético, también se pueden suprimir las vibraciones y el ruido acústico.

45 En este cuarto modo de realización, también es posible mejorar la forma de onda de la corriente de la armadura disponiendo las cuñas magnéticas 15 en las aberturas de las ranuras 12 del estator y las ranuras 22 del rotor del generador síncrono excitado por corriente alterna, de acuerdo con el segundo o tercer modo de realización.

50 Quinto modo de realización

Se describirá ahora el quinto modo de realización. La figura 12 muestra esquemáticamente la estructura completa de un sistema generador síncrono excitado por corriente alterna, de acuerdo con este modo de realización. El sistema generador síncrono excitado por corriente alterna de acuerdo con este quinto modo de realización comprende un generador síncrono 1 excitado por corriente alterna, un dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna y una fuente 40 de potencia de activación.

55 El generador síncrono 1 excitado por corriente alterna utilizado en este quinto modo de realización es similar en estructura a los generadores síncronos excitados por CA descritos en los modos de realización primero a cuarto

anteriores, y tiene un terminal 31 del devanado de la armadura y un terminal 32 del devanado de campo. El terminal 32 del devanado de campo del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna está conectado al terminal de salida del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna. El terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna y el terminal de entrada del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna están conectados ambos con un sistema 33 de potencia.

El rotor 20 del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna es girado por medio de una fuerza de accionamiento suministrada desde la fuente 40 de potencia de activación. El dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna suministra una corriente de excitación al terminal 31 del devanado de la armadura y al terminal 32 del devanado de campo. El terminal 32 del devanado de campo del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna está conectado al terminal de salida del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna. El terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna y el terminal de entrada del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna están conectados ambos a un sistema 33 de potencia.

El rotor 20 del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna es girado por medio de una fuerza de accionamiento suministrada desde la fuente 40 de potencia de activación. El dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna suministra una corriente de excitación al generador síncrono excitado por corriente alterna a través del terminal 32 del devanado de campo. Como resultado, se puede suministrar potencia eléctrica al sistema 33 de potencia a través del terminal 31 del devanado de la armadura.

Como la potencia requerida para hacer que fluya la corriente de excitación en el generador síncrono 1 excitado por corriente alterna, a través del terminal 32 del devanado de campo, es solamente un 20 o un 30% de la potencia entregada desde el terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna, la capacidad del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna puede hacerse menor, y por tanto se puede esperar una reducción de coste adicional, conectando el terminal de salida del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna con el terminal 32 del devanado de campo, como se describe en este quinto modo de realización, que conectando el terminal de salida del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna con el terminal 31 del devanado de la armadura.

Más aún, como el generador síncrono 1 excitado por corriente alterna usado en este quinto modo de realización es similar en estructura a los generadores síncronos excitados por CA descritos en los primero a cuarto modos de realización anteriores, se suprime la distorsión de la forma de onda de la corriente entregada en el terminal 31 del devanado de la armadura. Por tanto, en este modo de realización, no hay necesidad de proporcionar un convertidor entre el terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna y el sistema 33 de potencia.

En el caso en que no haya convertidor entre el terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna y el sistema 33 de potencia, la corriente fluye desde el terminal 31 del devanado de la armadura directamente hacia el sistema 33 de potencia. Se requiere por tanto dar forma previamente a la forma de onda de la corriente entregada desde el terminal 31 del devanado de la armadura, de manera que el sistema 33 de potencia no pueda verse adversamente afectado. Sin embargo, de acuerdo con este modo de práctica, la distorsión de la forma de onda de la corriente entregada desde el terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna se suprime en tan gran medida que la forma de onda ya no impone ningún efecto adverso sobre el sistema 33 de potencia.

Consecuentemente, también en este aspecto, es especialmente ventajoso utilizar el generador síncrono excitado por corriente alterna como se ha descrito en los modos de realización primero a cuarto, en el sistema generador síncrono excitado por corriente alterna de acuerdo con este quinto modo de realización, en el que el terminal 31 del devanado de la armadura está conectado directamente con el sistema 33 de potencia para suministrar directamente potencia al sistema 33 de potencia.

Un ejemplo de máquinas eléctricas giratorias que tienen la misma estructura que el generador síncrono excitado por corriente alterna, es un motor de inducción de rotor bobinado. Aun cuando tal motor de inducción de rotor bobinado está conectado directamente con el sistema 33 de potencia sin ningún medio para mejorar la forma de onda de la corriente conectado entre ellos, el motor de inducción raramente afecta al sistema 33 de potencia adversamente, ya que el motor de inducción no suministra potencia sino que la recibe desde el sistema 33 de potencia.

[Sexto modo de realización]

Se describirá ahora el sexto modo de realización. La figura 13 muestra esquemáticamente la estructura completa de un sistema generador síncrono excitado por corriente alterna accionado eólicamente, de acuerdo con el sexto modo de realización. El sistema generador síncrono excitado por corriente alterna accionado eólicamente, de acuerdo con este modo de realización, comprende un generador síncrono 1 excitado por corriente alterna, un dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna y una fuente 40 de potencia de activación.

- 5 El generador síncrono 1 excitado por corriente alterna utilizado en este sexto modo de realización es similar en estructura a los generadores síncronos excitados por CA descritos en los modos de realización primero a cuarto anteriores y tiene un terminal 31 del devanado de la armadura y un terminal 32 del devanado de campo. El terminal 32 del devanado de campo del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna está conectado con el terminal de salida del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna. El terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna y el terminal de entrada del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna están ambos conectados con el sistema 33 de potencia.
- 10 La fuente 40 de potencia de activación utilizada en el sexto modo de realización comprende un molino de viento 41 y una unidad 42 de aumento de la velocidad. La unidad 42 de aumento de la velocidad está dispuesta entre el generador síncrono 1 excitado por corriente alterna y el molino de viento 41. La velocidad de rotación del molino de viento 41 aumenta por medio de la unidad 42 de aumento de la velocidad.
- 15 La figura 14 muestra gráficamente la relación entre el tamaño y el número de polos del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna. En la figura 14, la abscisa representa el número de polos del generador síncrono excitado por corriente alterna y la ordenada indica el tamaño del generador síncrono excitado por corriente alterna. Debe observarse aquí que el tamaño del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna está normalizado con respecto al tamaño de un generador síncrono excitado por corriente alterna de seis polos.
- 20 En general, la velocidad de rotación de un generador síncrono excitado por corriente alterna aumenta a medida que disminuye el número de polos. Se comprende por tanto en la figura 14 que la disminución del número de polos puede dar como resultado una disminución del tamaño y que la reducción del tamaño puede conducir a una reducción del coste.
- 25 Sin embargo, en un generador síncrono excitado por corriente alterna de dos polos en el estator o en el rotor, el ruido acústico desde el propio generador y la unidad 42 de aumento de la velocidad se hace considerable, de manera que tal generador no es adaptable para uso en un sistema de generación de potencia eólica, debido al impacto desfavorable en el entorno. Por tanto, si el número de polos se fija en 4 o 6, se puede obtener el tamaño óptimo para el generador síncrono excitado por corriente alterna. Este tamaño óptimo puede conducir también a la reducción de costes.
- 30 Además, como tal generador síncrono 1 excitado por corriente alterna como el descrito en los modos de realización primero a cuarto anteriores se utiliza en el sistema de generación de potencia eólica, de acuerdo con este sexto modo de realización, la influencia de los componentes armónicos más altos en la forma de onda de la corriente de la armadura puede ser menor aun cuando la longitud de la separación entre el estator 10 y el rotor 20 aumente. Consecuentemente, el tamaño del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna se puede reducir aún más.
- 35 De acuerdo con este modo de realización, el tamaño del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna se puede reducir para que pueda ser colocado fácilmente en una posición elevada, tal como en la barquilla de un molino de viento de gran tamaño.
- 40 De acuerdo con el sistema de generación de potencia eólica descrito en el sexto modo de realización, se puede generar una potencia estable que es suministrada directamente al sistema 33 de potencia, ajustando la tensión y la frecuencia de la salida del dispositivo excitador 30 de frecuencia variable de corriente alterna conectado con el terminal 32 del devanado de campo del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna, como respuesta al cambio en la velocidad de rotación del molino de viento 41 y manteniendo con ello constante a velocidad de rotación del rotor 20.
- 45 Como se ha descrito hasta ahora, la presente invención puede proporcionar un generador síncrono excitado por corriente alterna y un sistema generador síncrono excitado por corriente alterna utilizado para la generación de potencia eólica, en los cuales se suprime la distorsión en la forma de onda de la corriente de la armadura.
- 50 Además, de acuerdo con la presente invención, se suprime la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura, de manera que se puede disminuir la influencia de los componentes armónicos más altos en la forma de onda de la corriente de la armadura, aun cuando la longitud de la separación entre el estator 10 y el rotor 20 disminuya. Consecuentemente, se puede reducir el tamaño del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna. Por tanto, se puede colocar fácilmente en una posición elevada, tal como la barquilla de un molino de viento de gran tamaño.
- 55 Más aún, de acuerdo con la presente invención, como se suprime la distorsión de la forma de onda de la corriente de la armadura, la corriente entregada desde el terminal 31 del devanado de la armadura del generador síncrono 1 excitado por corriente alterna puede ser suministrada directamente al sistema 33 de potencia, teniendo dicha corriente una forma de onda tal que no impone ninguna influencia adversa en el sistema 33 de potencia.
- 60

La invención no está limitada a los modos de realización, y pueden hacerse diversos cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones dependientes.

REIVINDICACIONES

1. Un generador síncrono, que comprende
- 5 un rotor (20) que tiene un devanado (23) de campo colocado en las ranuras (22) del mismo y un estator (10) que tiene un devanado (13) de la armadura colocado en las ranuras (12) del mismo, donde el generador es un generador síncrono excitado por corriente alterna en el cual el devanado (23) de campo está excitado por una corriente alterna, y en el cual se genera la potencia eléctrica en el devanado (13) de la armadura,
- 10 **caracterizado por que**  
el valor del número de ranuras (12) por cada dos polos del estator (10) menos el número de ranuras (22) por cada dos polos en el rotor (20)  $|N_1 - N_2|$  es igual a 9, 12, 15, 18, 21 o 24.
2. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el número de ranuras (12) por polo y por fase en el estator (10) y el número de ranuras (22) por polo y por fase en el rotor (20) son ambos números enteros.
3. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 2, en el que la relación del paso del devanado de la armadura con respecto al paso de polos del estator cae dentro de un intervalo de 77,8 ~ 88,9%.
- 20 4. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 2, en el que la relación del paso del devanado de campo con respecto al paso de polos del rotor cae dentro de un intervalo de 77,8 ~ 88,9%.
5. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el número de ranuras (12) por polo y por fase en el estator (10) es un entero y el número de ranuras (22) por polo y por fase en el rotor (20) es una fracción.
- 25 6. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el número de ranuras (12) por polo y por fase en el estator (10) es una fracción y el número de ranuras (22) por polo y por fase en el rotor (20) es un entero.
- 30 7. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 2, en el que el número de ranuras (12) por cada dos polos en el estator (10) es 30 y el número de ranuras (22) por cada dos polos en el rotor (20) es 18.
- 35 8. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 5, en el que el número de ranuras (12) por cada dos polos en el estator (10) es 36 y el número de ranuras (22) por cada dos polos en el rotor (20) es 27.
9. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que el número de polos se selecciona entre 4 o 6.
- 40 10. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 1, en el que cada ranura del rotor tiene una forma circunferencialmente asimétrica.
11. El generador síncrono como se reivindica en la reivindicación 1, en el que se disponen unas cuñas magnéticas (14, 24) en las aberturas de las ranuras (12) del estator y las ranuras (22) del rotor.
- 45 12. El sistema de generación de potencia que comprende el generador síncrono (1) reivindicado en la reivindicación 1 y una fuente de alimentación (40) de activación para hacer girar al rotor (20), en el que la fuente (40) de potencia de activación incluye un molino de viento (41) y una unidad (42) de aumento de la velocidad que está dispuesta entre el generador síncrono (1) y el molino de viento (41).
- 50 13. El sistema de generación de potencia como se reivindica en la reivindicación 12, que comprende además un dispositivo excitador (30) para excitar el devanado (23) de campo, donde el dispositivo excitador (30) puede hacer que la tensión y frecuencia de salida del mismo tomen valores predeterminados.
- 55

FIG. 1

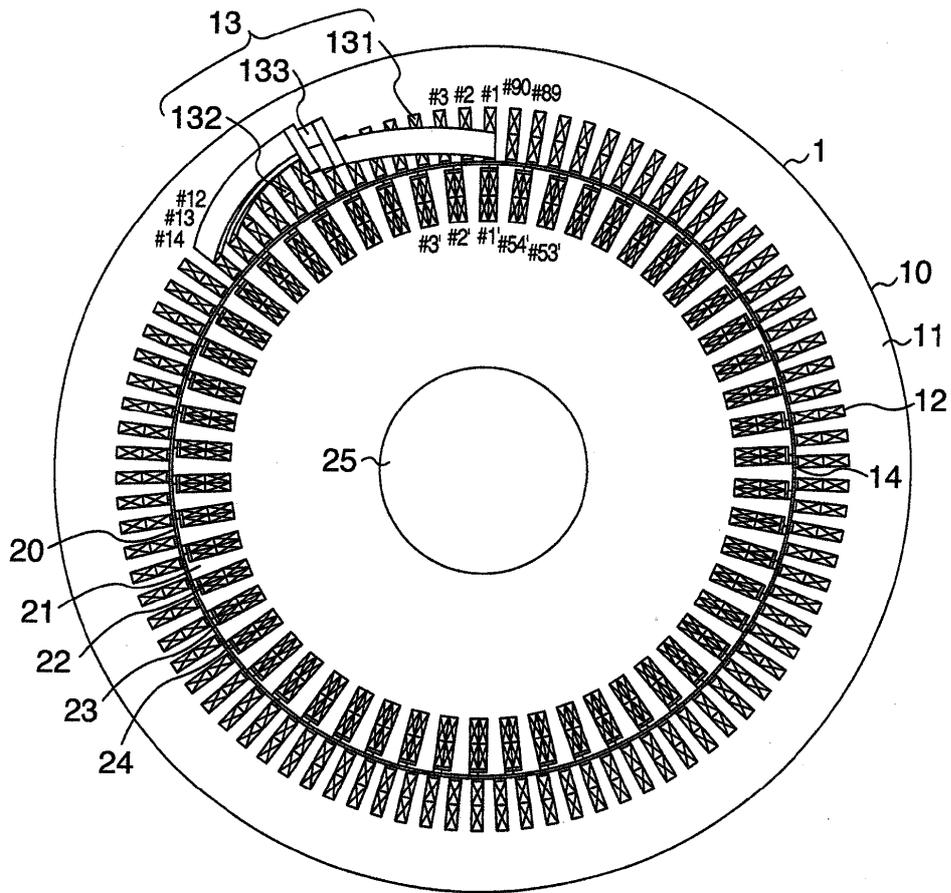
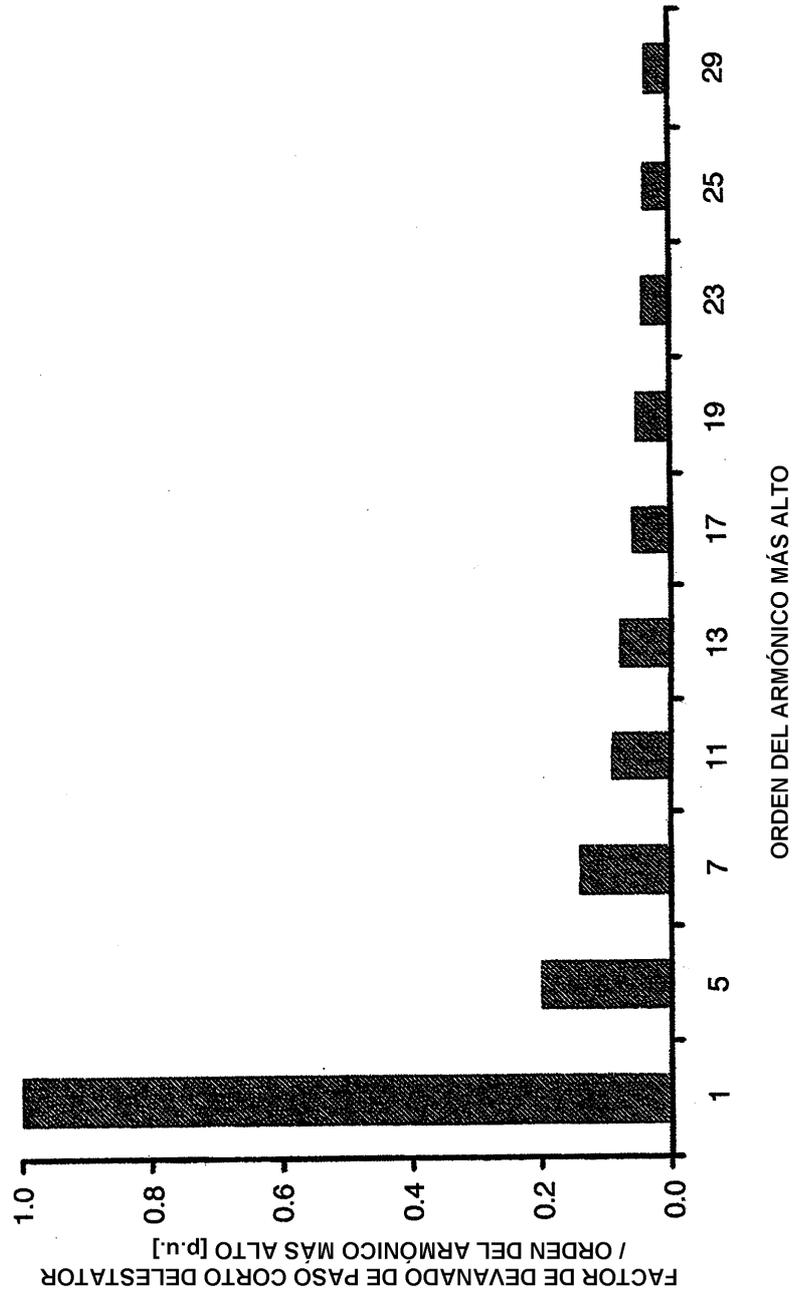


FIG. 2

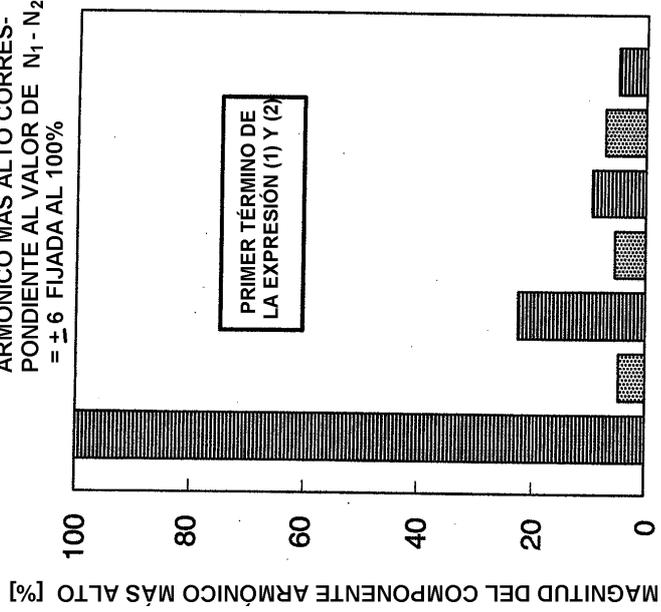
NÚMERO DE RANURAS POR POLO Y POR FASE EN EL ROTOR	NÚMERO DE RANURAS POR POLO Y POR FASE EN EL ESTATOR		3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
	N <sub>2</sub> NÚMERO DE RANURAS POR CADA DOS POLOS EN EL ROTOR	N <sub>1</sub> NÚMERO DE RANURAS POR CADA DOS POLOS EN EL ESTATOR									
3	18		—	3	6	9	12	15	18	21	24
3.5	21		-3	—	3	6	9	12	15	18	21
4	24		-6	-3	—	3	6	9	12	15	18
4.5	27		-9	-6	-3	—	3	6	9	12	15
5	30		-12	-9	-6	-3	—	3	6	9	12
5.5	33		-15	-12	-9	-6	-3	—	3	6	9
6	36		-18	-15	-12	-9	-6	-3	—	3	6
6.5	39		-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	—	3
7	42		-24	-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	—

FIG. 3



**FIG. 4A**

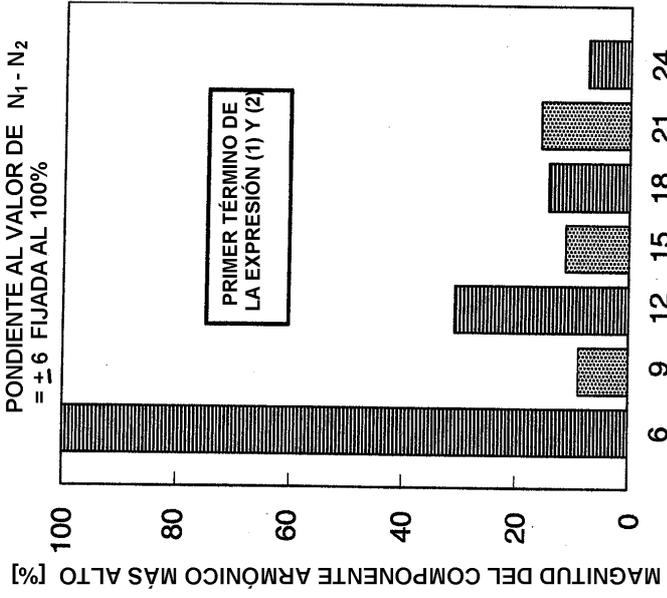
\* MAGNITUD DEL COMPONENTE ARMÓNICO MÁS ALTO CORRESPONDIENTE AL VALOR DE  $N_1 - N_2 = \pm 6$  FIJADA AL 100%



EL VALOR DEL NÚMERO  $N_1$  DE RANURAS POR CADA DOS POLOS EN EL ESTATOR MENOS EL NÚMERO  $N_2$  DE RANURAS POR CADA DOS POLOS EN EL ROTOR

**FIG. 4B**

\* MAGNITUD DEL COMPONENTE ARMÓNICO MÁS ALTO CORRESPONDIENTE AL VALOR DE  $N_1 - N_2 = \pm 6$  FIJADA AL 100%



EL VALOR DEL NÚMERO  $N_1$  DE RANURAS POR CADA DOS POLOS EN EL ESTATOR MENOS EL NÚMERO  $N_2$  DE RANURAS POR CADA DOS POLOS EN EL ROTOR

FIG 5

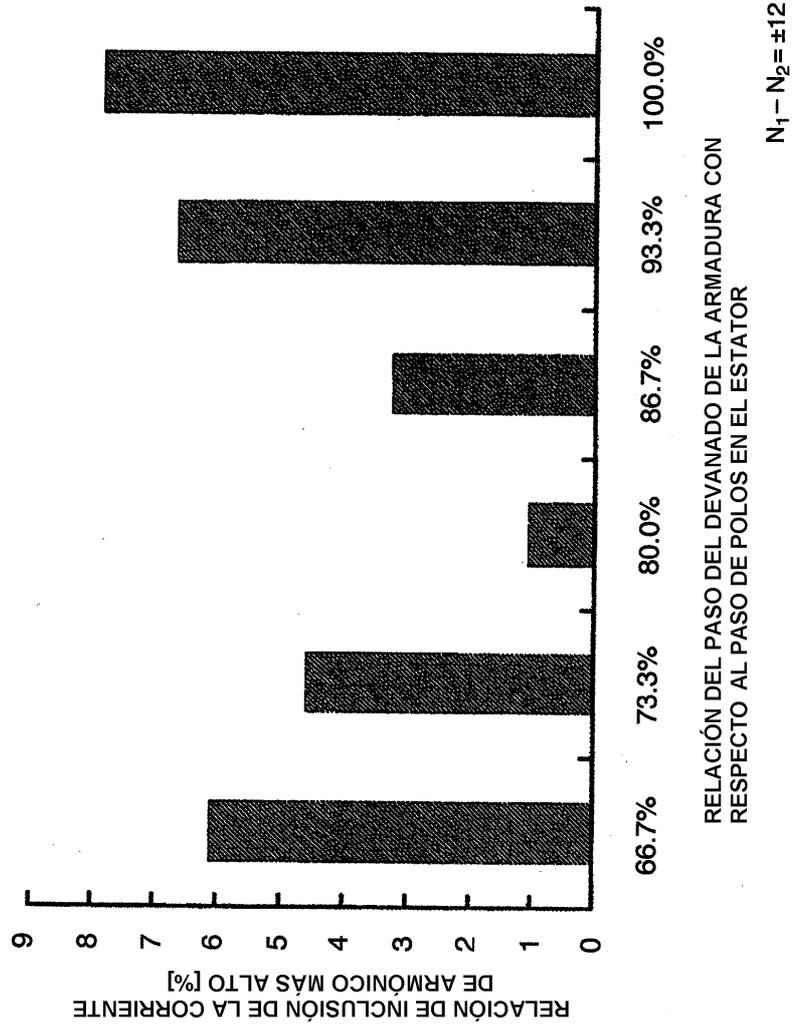


FIG. 6

NÚMERO DE NÚMERO DE DE RAMURAS	NÚMERO DE POLOS		NÚMERO DE POLOS		NÚMERO DE POLOS		NÚMERO DE POLOS		NÚMERO DE POLOS		NÚMERO DE POLOS	
	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
18	(1) 77,8 (8) (1) 86,9 (9)							(1) 84,0 (18) (1) 81,5 (18) (1) 81,0 (18)	(1) 85,7 (12) (1) 85,7 (13) (1) 85,7 (10)			
21	(1) 85,7 (10)							(1) 85,7 (19)	(1) 85,7 (10)			
24	(1) 83,3 (11)							(1) 82,5 (13) (1) 80,0 (14) (1) 86,7 (4)	(1) 82,5 (13) (1) 80,0 (14) (1) 86,7 (11)			
27	(1) 81,5 (12)							(1) 85,7 (14) (1) 80,0 (13) (1) 86,7 (4)	(1) 85,7 (14) (1) 80,0 (13) (1) 86,7 (9)			
30	(1) 80,0 (13) (1) 86,7 (4)							(1) 83,3 (14) (1) 81,3 (14) (1) 83,3 (9)	(1) 83,3 (14) (1) 81,3 (14) (1) 83,3 (9)			
33	(1) 84,8 (15)							(1) 81,3 (14) (1) 83,3 (9)	(1) 81,3 (14) (1) 83,3 (9)			
36	(1) 83,3 (16) (1) 77,8 (8) (1) 86,9 (9)							(1) 81,3 (14) (1) 80,8 (15) (1) 82,4 (15) (1) 86,3 (12)	(1) 81,3 (14) (1) 80,8 (15) (1) 82,4 (15) (1) 86,3 (10)			
39	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (8)							(1) 85,7 (16) (1) 83,3 (16) (1) 81,5 (12)	(1) 85,7 (16) (1) 83,3 (16) (1) 81,5 (12)			
42	(1) 81,0 (18) (1) 85,7 (19)							(1) 85,7 (16) (1) 83,3 (16) (1) 81,5 (12)	(1) 85,7 (16) (1) 83,3 (16) (1) 81,5 (12)			
45	(1) 80,0 (10)							(1) 85,7 (16) (1) 83,3 (16) (1) 81,5 (12)	(1) 85,7 (16) (1) 83,3 (16) (1) 81,5 (12)			
48	(1) 83,3 (11)							(1) 81,3 (16) (1) 86,5 (19) (1) 81,1 (10)	(1) 81,3 (16) (1) 86,5 (19) (1) 81,1 (10)			
51	(1) 86,3 (12)							(1) 84,2 (17) (1) 84,2 (13) (1) 84,2 (11)	(1) 84,2 (17) (1) 84,2 (13) (1) 84,2 (11)			
54	(1) 81,5 (12)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
57	(1) 84,2 (13) (1) 84,2 (9)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
60	(1) 80,0 (13) (1) 86,7 (4)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
63	(1) 82,5 (14) (1) 84,8 (10)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
66	(1) 85,7 (15) (1) 81,3 (10)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
69	(1) 87,0 (16) (1) 87,0 (11)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
72	(1) 83,3 (16) (1) 77,8 (8) (1) 86,9 (9)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
75	(1) 85,3 (17) (1) 80,0 (11) (1) 85,3 (9)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			
76	(1) 82,1 (17) (1) 84,6 (12) (1) 82,1 (9)							(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)	(1) 82,1 (17) (1) 82,1 (13) (1) 82,1 (11)			

FILA SUPERIOR: PASO DEL DEVANADO DE  
 LA ARMADURA  
 FILA INFERIOR: RELACION DEL PASO DEL  
 DEVANADO DE LA ARMADURA CON  
 EL PASO DE LOS ESTATORIOS (%)  
 LAS CAJAS CON LADOS GRUESOS CONTIENEN  
 VALORES ENTEROS

FIG. 7

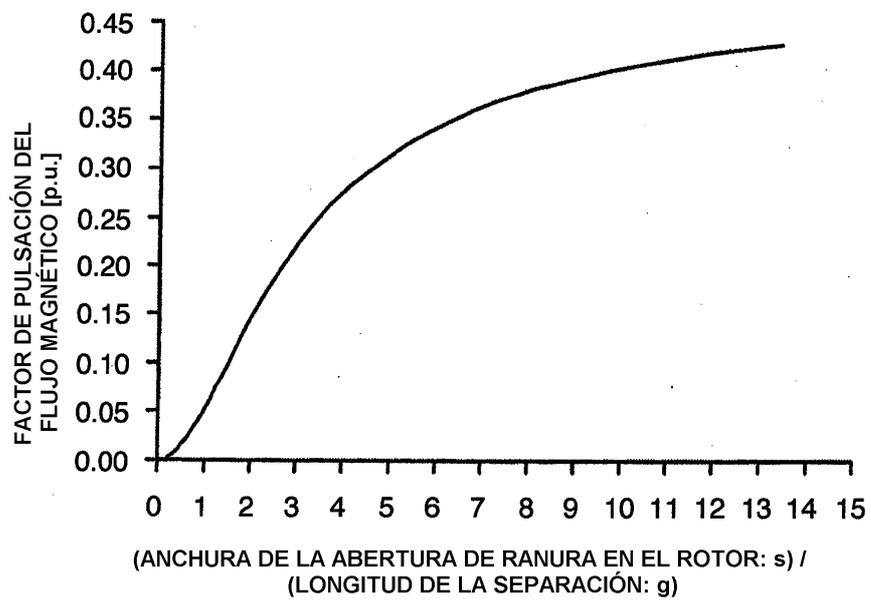


FIG. 8

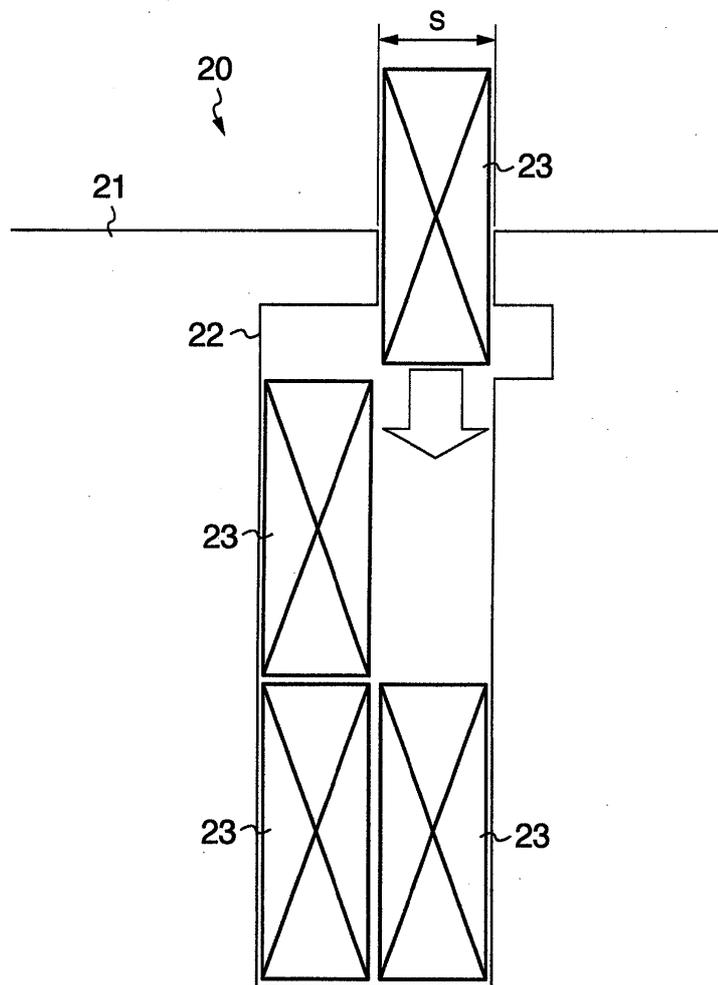


FIG. 9

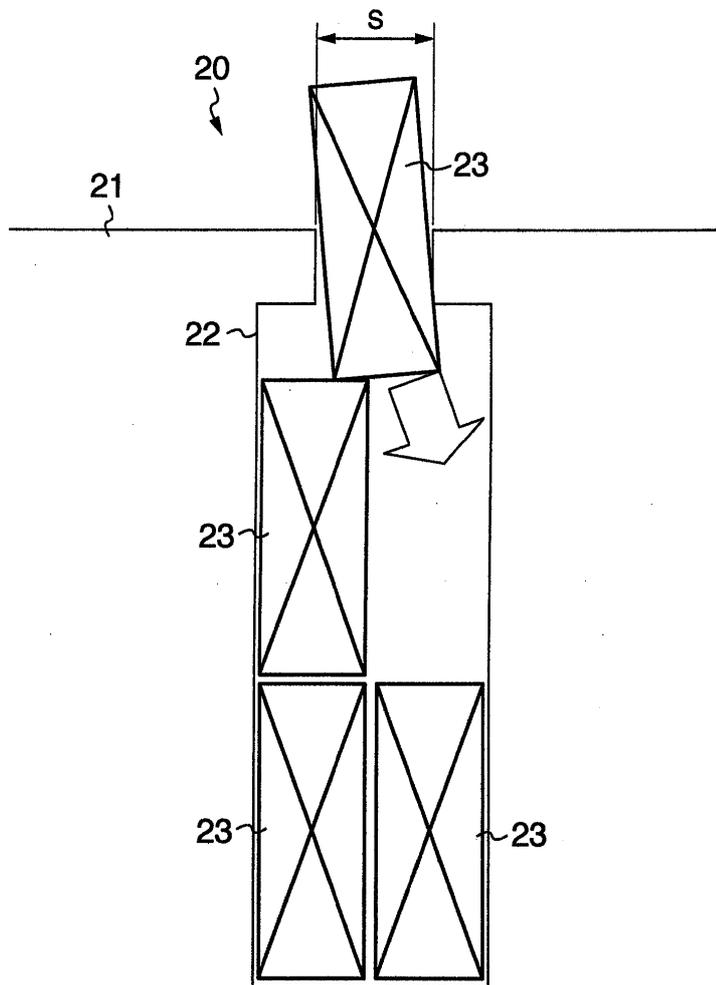


FIG. 10

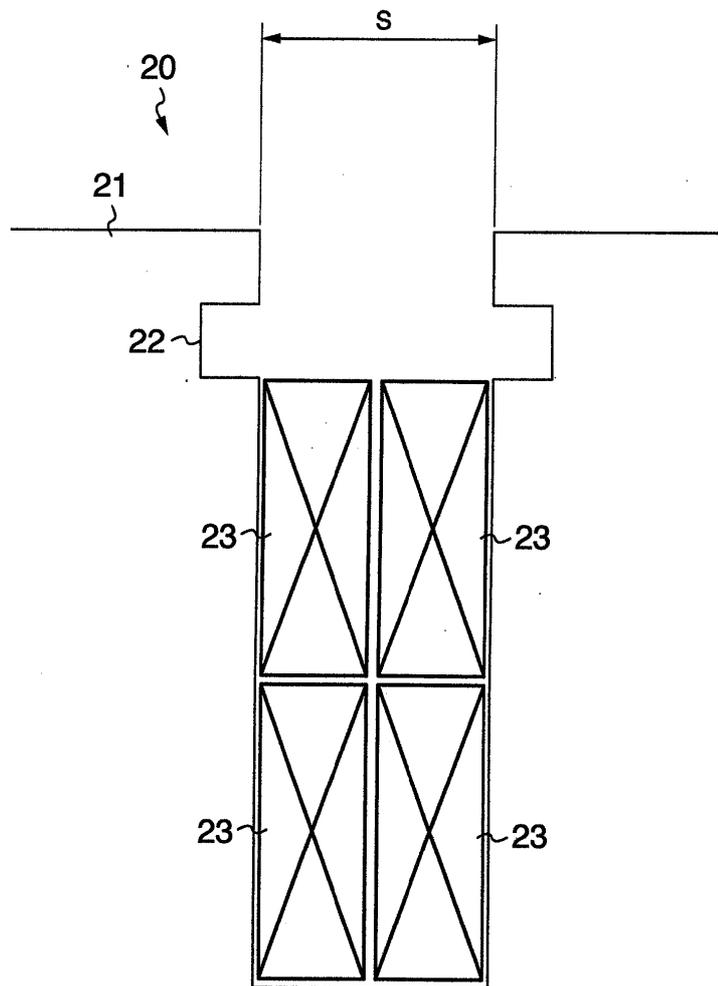


FIG. 11

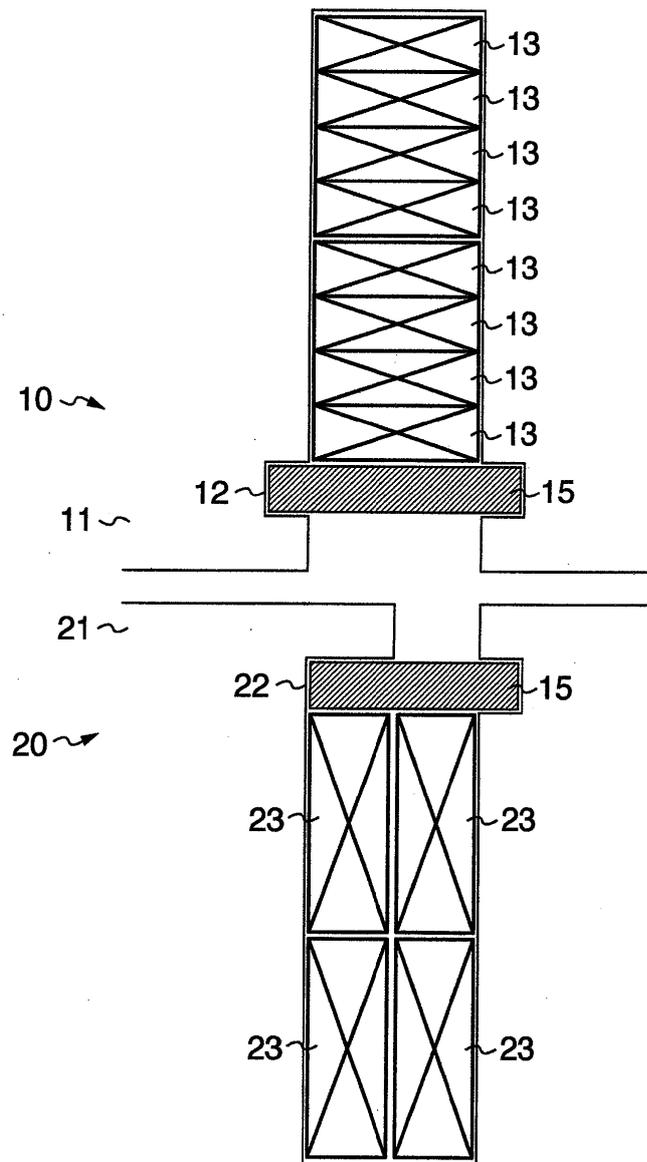


FIG. 12

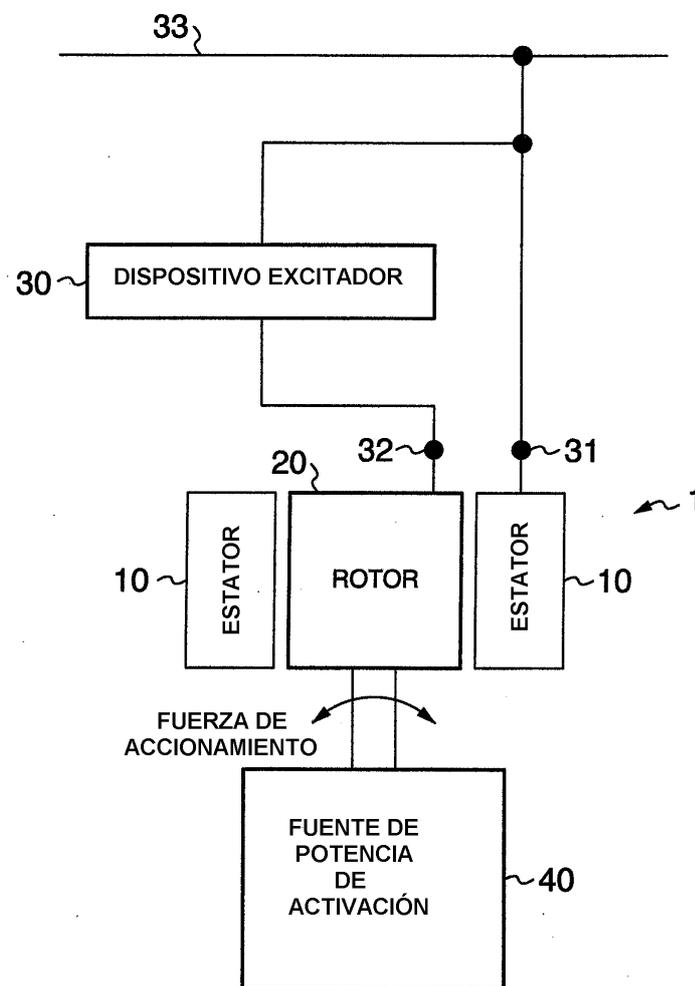


FIG. 13

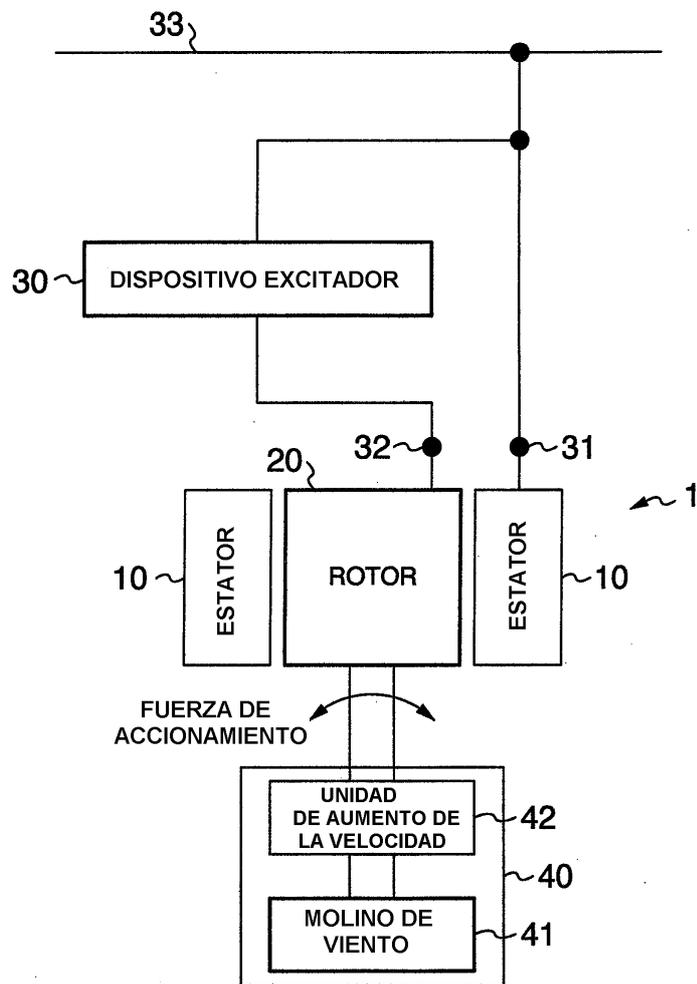


FIG. 14

