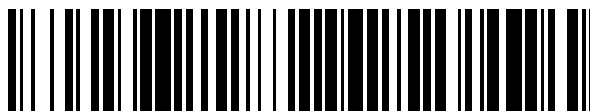


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 234**

51 Int. Cl.:

H02K 1/02 (2006.01)

H02K 1/27 (2006.01)

H02K 21/16 (2006.01)

H02K 15/03 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2011** **E 11159059 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019** **EP 2369719**

54 Título: **Rotor y máquina rotatoria de imán permanente**

30 Prioridad:

23.03.2010 JP 2010066145

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

17.12.2019

73 Titular/es:

SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD. (100.0%)
6-1, Otemachi 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo, JP

72 Inventor/es:

KOBAYASHI, HIDEKI;
DOI, YUHITO y
MINOWA, TAKEHISA

74 Agente/Representante:

VÁZQUEZ FERNÁNDEZ-VILLA, Concepción

ES 2 735 234 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

Rotor y máquina rotatoria de imán permanente

5 **Antecedentes de la invención****1. Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere a un rotor usado para una máquina rotatoria de imán permanente que comprende el rotor que comprende una pluralidad de imanes permanentes incorporados en un núcleo de rotor y un estator formado enrollando un hilo de enrollamiento a través de un núcleo de estator que tiene una pluralidad de ranuras, estando dispuestos el rotor y el estator con un huelgo interpuesto entre ellos (la máquina que se denomina máquina rotatoria de imán incorporado o máquina rotatoria de IPM (imán permanente interior)), y particularmente a un rotor adaptado para una máquina rotatoria de imán permanente que se adecúa mejor para un generador de energía eólica grande y similares.

2. Descripción de la técnica relacionada

20 Un imán sinterizado basado en Nd se usa cada vez para más fines variados debido a sus excelentes propiedades magnéticas. En los últimos años, en el campo de las máquinas rotatorias tales como un motor y un generador, se han desarrollado máquinas rotatorias de imanes permanentes que comprenden los imanes sinterizados basados en Nd como dispositivos que tienen peso, grosor, longitud y tamaño reducidos, rendimiento mejorado y que tienen más rendimiento energético. Puesto que es posible utilizar un par de reluctancia mediante la magnetización de una culata de rotor además del par, mediante la magnetización de imanes en una máquina rotatoria de IPM que tiene los imanes incorporados en un rotor, se ha estudiado la máquina como una máquina rotatoria de alto rendimiento. Puesto que los imanes están incorporados en la culata de rotor de chapas de acero al silicio o similar, los imanes no saltan fuera debido a la fuerza centrífuga durante la rotación. Por consiguiente, la máquina rotatoria tiene una alta seguridad mecánica, puede hacerse funcionar con un par alto y en un intervalo amplio de velocidad de rotación controlando una fase de corriente, y puede ser un motor de alto rendimiento energético, altamente eficiente, y con un par alto. En los últimos años, se han extendido rápidamente las aplicaciones tales como un motor o un generador para un coche eléctrico, un coche híbrido, un acondicionador de aire de alto rendimiento, fines industriales, un tren y similares.

35 Para el futuro, se espera que el imán sinterizado basado en Nd se aplique a un generador de energía eólica grande. Se requiere mayor eficiencia, aumento en la capacidad de generación eléctrica, mejora de la calidad de potencia eléctrica, y una menor tasa de fallos del generador de energía eólica grande. Por esta razón, se espera que el uso de la máquina rotatoria que comprende el imán sinterizado basado en Nd para energía eólica se expanda rápidamente en el futuro.

40 En general, el imán permanente en la máquina rotatoria es apto para desmagnetizarse mediante la acción de campos diamagnéticos debido al hilo de enrollamiento de tal manera que una fuerza coercitiva magnética tiene que ser igual que o superior a un valor determinado. Puesto que la fuerza coercitiva magnética se reduce a medida que aumenta la temperatura, teniendo el imán una mayor temperatura ambiente, se requiere una fuerza coercitiva magnética cuando se usa para rotación a alta velocidad en la que no se puede ignorar la generación de calor debido a una corriente parásita en el imán. Por otro lado, una densidad de flujo magnético residual que es un índice de fuerza magnética necesita ser tan alta como sea posible puesto que influye directamente en la capacidad de generación eléctrica.

50 Hay una relación de compensación entre la fuerza coercitiva magnética y la densidad de flujo magnético residual del imán sinterizado basado en Nd de tal manera que la densidad de flujo magnético residual disminuye a medida que la fuerza coercitiva magnética aumenta. Por consiguiente, hay un problema que es que se reduce la capacidad de generación eléctrica cuando el imán que tiene una fuerza coercitiva magnética alta innecesaria se usa para el generador.

55 En los últimos años, tal como se informa en los documentos WO2006/043348A1 y en Kenichi Machida, Takashi Kawasaki, Shunji Suzuki, Masahiro Ito y Takashi Horikawa, "Grain Boundary Reforming and Magnetic Properties of Nd-Fe-B-based Sintered Magnet", Abstracts of Lectures of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Spring Meeting in 2004, pág. 202, hay un método para aumentar una fuerza coercitiva magnética sin reducir la densidad de flujo magnético residual en la que se difunden Dy (disproso) o Tb (terbio) desde una superficie hasta el interior de un imán sinterizado. Puesto que es posible engrosar eficientemente Dy y Tb a un límite de grano mediante el método, es posible aumentar la fuerza coercitiva magnética con una pequeña reducción en la densidad de flujo magnético residual. Además, cuanto más pequeño es el tamaño del imán, más Dy o Tb se difunde hacia dentro de tal manera que puede aplicarse el método a un imán pequeño o fino.

65 En el documento JP 2008-061333A se informa sobre una máquina rotatoria de imán de superficie (denominada máquina rotatoria de SPM (imán permanente de superficie)) que comprende imanes que se han sometido a difusión

de Dy o Tb. Resulta eficaz aumentar la fuerza coercitiva magnética de una parte fina del imán con forma de D y se obtiene un imán de este tipo difundiendo Dy o Tb en el imán.

Sumario de la invención

5 La presente invención se ha realizado bajo las circunstancias anteriores y un objetivo de la invención es proporcionar un rotor adaptado para una máquina rotatoria de imán permanente grande que tiene una salida y resistencia de desmagnetización altas y la máquina rotatoria de imán permanente.

10 Los presentes inventores han estudiado mucho para lograr el objetivo anterior y, como resultado, han hallado que, en una máquina rotatoria de IPM que comprende una pluralidad de imanes permanentes, resulta eficaz usar los imanes permanentes teniendo cada uno una fuerza coercitiva superior en un lado periférico exterior del rotor (es decir, en una región de superficie de lado de estator) a la fuerza coercitiva magnética en una parte interior del imán permanente. En un generador de energía eólica grande que tiene salida nominal superior a 1 MW, la velocidad de rotación de un rotor del generador es de aproximadamente 2000 rpm como máximo. A una velocidad de rotación tan baja, una corriente parásita en los imanes no es grande y la generación de calor no es un problema. Por tanto, con respecto a la desmagnetización, no es necesario considerar la reducción de la fuerza coercitiva magnética debido a la corriente parásita.

20 Con respecto a la desmagnetización, es necesario considerar los campos diamagnéticos producidos por bobinas de estator.

25 El documento JP 2008-061333A da a conocer que, los propios campos diamagnéticos son grandes en partes finas de los imanes con forma de D en una máquina rotatoria de SPM de tal manera que es más probable que se produzca desmagnetización en estas partes, y que es un método eficaz para que las partes finas se sometan a un tratamiento de difusión de Dy o Tb puesto que las partes son finas de tal manera que la fuerza coercitiva magnética aumenta suficientemente incluso en el interior de las partes. Por otro lado, los imanes rectangulares usados en una máquina rotatoria de IPM son uniformes en cuanto al grosor de imán y no hay grandes diferencias en la magnitud de los propios campos diamagnéticos. Además, en los imanes grandes usados para un generador grande, no se difunde Dy o Tb hacia el interior para aumentar la fuerza coercitiva magnética. Por consiguiente, el método de difusión no se ha considerado eficaz en la máquina de rotación de IPM.

35 Sin embargo, los presentes inventores han hallado que un aumento de la fuerza coercitiva magnética sólo en la región de superficie que se ha sometido a la difusión es útil en el generador más grande de la máquina rotatoria de IPM. Se considera que el tratamiento de difusión tiene el efecto de aumentar la fuerza coercitiva magnética en la región desde la superficie hasta una profundidad de menos de 5 mm. Se considera que el aumento en la fuerza coercitiva magnética se vuelve gradualmente más pequeña en una posición más profunda desde la superficie del imán. Se ha hallado que el aumento de la fuerza coercitiva magnética es extremadamente efectivo en la región desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 3 mm en la máquina rotatoria de IPM del generador de energía eólica grande.

45 En el generador de energía eólica grande, las medidas contra los desastres naturales son importantes y es necesario considerar la desmagnetización del imán en todas las situaciones, especialmente en la máquina rotatoria de imán permanente. El estado de desmagnetización de imán más grave es un campo diamagnético grande debido a una corriente de cortocircuito del generador. Una corriente de cortocircuito de este tipo se produce por una rotura de un dispositivo para controlar la salida del generador debido al impacto de un rayo, por ejemplo. Esta corriente de cortocircuito es varias veces más alta que la corriente durante el funcionamiento nominal y un campo diamagnético en este momento también es varias veces mayor. La corriente de cortocircuito generada en las bobinas produce un flujo grande de un flujo magnético a través de un estator, un huelgo y un rotor. Parte del flujo del flujo magnético actúa como los campos diamagnéticos en los imanes y produce la desmagnetización. La mayor parte del flujo magnético fluye hacia dentro del núcleo de rotor que está compuesto por material magnético blando y parte de él se filtra hacia el interior de los imanes. Se ha hallado que el flujo magnético filtrado fluye especialmente hacia el interior de una región desde una superficie de lado de estator hasta una profundidad de 3 mm o menos del imán en una máquina rotatoria usada en un generador grande que tiene una salida nominal de 1 MW o superior, comprendiendo la máquina rotatoria un rotor que tiene un diámetro de 500 mm o mayor. En otras palabras, se ha hallado que es posible reducir la posibilidad de desmagnetización en gran medida aumentando la fuerza coercitiva magnética en la región de aproximadamente 3 mm en el lado de estator.

60 El método descrito anteriormente mediante el tratamiento de difusión, es adecuado como un método para aumentar la fuerza coercitiva magnética. Si se usa un imán seleccionado habitualmente que tiene una fuerza coercitiva magnética alta a través de todo el imán, se reduce la densidad de flujo magnético residual de tal manera que se reduce la salida de generador. Puesto que el método descrito anteriormente mediante el tratamiento de difusión puede aumentar la fuerza coercitiva magnética en una región desde la superficie hasta una profundidad de menos de 5 mm del imán con una pequeña reducción en la densidad de flujo magnético residual, se considera el método el más adecuado. Aunque el aumento en la fuerza coercitiva magnética que resulta del tratamiento de difusión es más pequeño en una posición más profunda desde la superficie, el método mediante el tratamiento de difusión se

considera suficientemente eficaz puesto que el documento JP 2008-061333A informa de un aumento en la fuerza coercitiva magnética de 300 kA/m con respecto a una parte de 9 mm de grosor del imán que se ha sometido a difusión de Dy y un gran aumento adicional por difusión de Tb.

5 Tal como se describió anteriormente, los presentes inventores han considerado que el enfoque anterior de aumentar la fuerza coercitiva difundiendo Dy o Tb en un método de recubrimiento o un método de pulverización catódica es muy eficaz como medida contra la desmagnetización del imán de la máquina rotatoria de IPM del generador de energía eólica grande. Mediante el uso de los imanes en los que se aumenta la fuerza coercitiva magnética en la región de lado de estator mediante un enfoque de este tipo, es posible evitar la desmagnetización cuando la corriente de cortocircuito fluye a través del generador para generar los campos diamagnéticos grandes en la región de lado de estator de los imanes y es posible aumentar la salida de la máquina rotatoria debido a la densidad de flujo magnético residual superior a la de los otros enfoques que aumentan la fuerza coercitiva magnética.

15 Tal como se describió anteriormente, la velocidad de rotación es relativamente baja en el generador de energía eólica grande de tal manera que la corriente parásita a través de los imanes es baja y hay poca posibilidad de generación de calor. Sin embargo, cuando una máquina rotatoria tiene una radiación de calor deficiente o se usa a una alta velocidad de rotación, especialmente la generación de calor producida por la corriente parásita se vuelve un problema. Con el fin de reducir la corriente parásita dividiendo una trayectoria P a través de la que fluye la corriente parásita, resulta eficaz dividir el imán tal como se muestra en la figura 7. Además, también resulta eficaz que cada una de las piezas de imán en las que se ha dividido el imán se someta al tratamiento de difusión para evitar la desmagnetización. En este caso, resulta eficaz usar los imanes en los que cuatro caras a través de las cuales es probable que fluya la corriente parásita, es decir, las cuatro caras paralelas a una dirección de magnetización M en la figura 7 se han sometido al tratamiento de difusión para aumentar la fuerza coercitiva magnética en regiones de superficie de las cuatro caras.

25 La invención proporciona una máquina rotatoria de imán permanente según la reivindicación 1, que comprende un rotor y un estator dispuesto con un huelgo desde una cara periférica exterior del rotor y formado enrollando un hilo de enrollamiento a través de un núcleo de estator que tiene dos o más ranuras, comprendiendo el rotor uno o más imanes permanentes en cada uno de los dos o más orificios de inserción, estando los orificios formados en una dirección circunferencial en un núcleo de rotor, en la que una fuerza coercitiva magnética en una región de superficie de lado de estator de cada uno de los imanes permanentes es mayor que la de en una parte central interior en 300 kA/m o más, siendo la parte central interior una parte interior a una profundidad de al menos 5 mm desde cualquier cara exterior del imán permanente.

35 Según la invención, usando un rotor que comprende uno o más imanes permanentes que tienen una densidad de flujo magnético residual alta y una fuerza coercitiva magnética alta, especialmente una fuerza coercitiva magnética alta en la región de superficie cerca del estator, es posible proporcionar la máquina rotatoria de IPM que tiene una salida alta y una resistencia de desmagnetización alta y que es adecuada para el generador de imán de la generación de energía eólica grande.

40 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 muestra un ejemplo de una máquina rotatoria de IPM en la invención;

45 la figura 2 muestra una forma de onda de corriente cuando fluye una corriente de cortocircuito;

la figura 3 muestra una distribución de campo diamagnético en un imán permanente;

50 la figura 4 muestra una distancia desde una superficie de lado de estator del imán permanente en un eje horizontal y una diferencia entre un campo diamagnético en cada distancia (profundidad) y un campo diamagnético en una parte central interior del imán permanente en un eje vertical y;

la figura 5 muestra otro ejemplo de la máquina rotatoria IPM en la invención;

55 la figura 6 muestra una distribución de campos diamagnéticos en imanes permanentes cuando los imanes permanentes están dispuestos en forma de V; y

la figura 7 muestra una realización en la que una trayectoria a través de la que fluye la corriente parásita está dividida.

60 **Descripción detallada de la realización preferida**

Un rotor de una máquina rotatoria de imán permanente según la presente invención es un rotor usado para una máquina rotatoria de imán permanente de IPM que comprende el rotor que tiene una pluralidad de imanes permanentes incorporados en un núcleo de rotor y un estator formado enrollando un hilo de enrollamiento a través de un núcleo de estator que tiene una pluralidad de ranuras, estando el rotor y el estator dispuestos con un huelgo

interpuesto entre ellos. En la invención, la fuerza coercitiva magnética en las inmediaciones de la superficie de cada uno de la pluralidad de imanes permanentes en un lado de periferia exterior del rotor es mayor que la fuerza coercitiva magnética en una parte interior.

5 Se muestra uno de los ejemplos en la figura 1 de tal máquina rotatoria de IPM. La máquina 10 rotatoria en la figura 1 que comprende un rotor 11 que tiene una estructura de 12 polos y que tiene una pluralidad de imanes 13 permanentes incorporados en un núcleo 12 de rotor que es un material laminado de chapas de acero magnético se muestra a modo de ejemplo. Se selecciona el número de polos según un fin de la máquina rotatoria. Un estator 15 es un material laminado de chapas de acero magnético y tiene 18 ranuras. El estator 15 comprende una bobina 17
10 enrollada alrededor de cada uno de los dientes de un núcleo 16 de estator. Las bobinas forman conexiones Y trifásicas. Las flechas en la figura 1 muestran las direcciones de magnetización de los respectivos imanes permanentes. Las direcciones de magnetización son paralelas a las direcciones radiales del rotor, y las direcciones de magnetización de los imanes adyacentes entre sí en una dirección circunferencial son opuestas entre sí.

15 El imán permanente que se va a usarse es preferiblemente un imán sinterizado de tierras raras basado en Nd. El imán sinterizado de tierras raras es mucho más excelente en la densidad de flujo magnético residual y en la fuerza coercitiva magnética que otros imanes. El imán sinterizado de tierras raras basado en Nd es menos costoso y más excelente en la densidad de flujo magnético residual que un imán sinterizado de tierras raras basado en Sm y por tanto es el material de imán más adecuado para una máquina rotatoria de alto rendimiento. Dado que el imán
20 sinterizado de tierras raras basado en Nd puede incluir un imán sinterizado que tiene una composición de Nd-Fe-B, que es Nd₂Fe₁₄B, por ejemplo. Puede incorporarse una pieza de imán permanente en cada uno de los orificios de inserción del rotor. Alternativamente, pueden unirse entre sí dos o más piezas de imán permanente en las que se divide un imán usando un adhesivo para formar un material laminado e incorporarse en un orificio de inserción, o dos o más piezas de imán permanente pueden formar un material laminado sin usar el adhesivo e incorporarse en
25 un orificio de inserción.

En la invención, tal como se describió anteriormente, se usa el imán en el que la fuerza coercitiva magnética en las inmediaciones de la superficie cerca del lado de estator es mayor que la de en la parte interior. Este imán puede formarse difundiendo Dy o Tb desde la superficie hacia el interior del imán usando el método de recubrimiento o el
30 método de pulverización catódica descritos anteriormente. El imán tiene normalmente forma de un rectángulo, preferiblemente un cuadrado que tiene un lado de 10 mm o más largo o un rectángulo que tiene un lado corto de 10 mm o más largo, siendo el grosor también de 10 mm o mayor. Según la invención, la fuerza coercitiva magnética en una región de superficie de lado de estator del imán permanente es mayor que la de en una parte central interior en 300 kA/m o más en la que la parte central interior es una parte interior a una profundidad de al menos 5 mm desde cualquier cara de forma exterior del imán permanente. La parte central interior es la parte que está alejada de una superficie exterior del imán permanente completo y apenas está influida por la difusión en el método de recubrimiento o en el método de pulverización catódica.

Se describe el enfoque para difundir Dy o Tb desde la superficie hacia el interior del imán en el método de recubrimiento o en el método de pulverización catódica en los documentos WO2006/043348A1 y JP 2008-061333A y puede denominarse a veces "tratamiento de superficie mediante un método de aleación por difusión de límite de grano". En este método, preferiblemente, un cuerpo de imán sinterizado y el polvo presente sobre la superficie del cuerpo de imán sinterizado se tratan térmicamente a una temperatura inferior a o igual que una temperatura de sinterización del cuerpo de imán sinterizado a vacío o en un gas inerte. El polvo comprende uno o más
45 seleccionados del grupo que consiste en óxidos, fluoruros y fluoruros de ácido de uno o más de elementos seleccionados de elementos de tierras raras que incluyen Y y Sc. El cuerpo de imán sinterizado puede ser preferiblemente un cuerpo de imán sinterizado que tiene una composición de R¹-Fe-B en la que R¹ representa uno o más seleccionados de elementos de tierras raras que incluyen Y y Sc. El documento JP 2008-061333A da a conocer la máquina rotatoria de SPM que comprende el imán que se ha sometido al tratamiento de difusión de Dy o Tb. Puede usarse esta máquina rotatoria de SPM para el generador de energía eólica.

En el generador adaptado para la generación de energía eólica grande, se usa un rotor que tiene un diámetro de aproximadamente 500 mm o mayor. Una dimensión axial del rotor es aproximadamente 500 mm o mayor, los imanes están laminados en una dirección axial, y la pluralidad de imanes están insertados en una dirección axial en el interior de cada orificio que penetra formado en una culata de rotor de manera que se obtiene una longitud
55 aproximadamente igual a la longitud axial del rotor.

En general, se genera una corriente parásita en el imán de la máquina rotatoria variando los campos magnéticos durante la rotación. La corriente parásita se convierte en calor como pérdida de julios de tal manera que la temperatura del imán aumenta. Puesto que la fuerza coercitiva magnética del imán disminuye a medida que la temperatura aumenta, la fuerza coercitiva disminuye significativamente de tal manera que el imán se desmagnetiza cuando la corriente parásita es grande. Puesto que la magnitud de la corriente parásita es proporcional al cuadrado de la frecuencia variable del campo magnético, la pérdida de corriente parásita se vuelve un problema en la máquina rotatoria que tiene velocidad de rotación alta. Por otro lado, el rotor del generador de energía eólica grande rota mientras aumenta la velocidad de rotación de los álabes de rotor en aproximadamente 100 veces. La velocidad de rotación del rotor del generador en este caso es aproximadamente 2000 rpm o inferior en la generación de energía

eólica grande de 1 MW o superior. Por consiguiente, la corriente parásita a una velocidad de rotación tan baja es pequeña y la cantidad de generación de calor debido a la pérdida de corriente parásita es pequeña. Por consiguiente, con respecto a la fuerza coercitiva magnética necesaria, puede decirse que no es necesario tener en cuenta la pérdida de corriente parásita.

5 Una posibilidad de la desmagnetización se vuelve la más alta en el generador de energía eólica grande cuando la corriente de cortocircuito fluye a través del generador durante el funcionamiento nominal. Esto puede suceder en el momento de un accidente tal como una rotura de un dispositivo semiconductor para controlar una carga durante el funcionamiento nominal. En el momento de un cortocircuito, se genera la corriente varias veces mayor que la corriente durante el funcionamiento nominal en la bobina y el flujo magnético debido a la corriente de la bobina fluye desde el estator hacia el interior del rotor a través del huelgo. El flujo magnético grande atraviesa la culata de rotor que tiene permeabilidad magnética alta y parte del flujo magnético se filtra hacia el interior de la región de imán puesto que el rotor se satura de manera aproximadamente completa con magnetismo. Puesto que el flujo magnético se filtra principalmente hacia el interior de la región de superficie de lado de estator de los imanes, los campos diamagnéticos se vuelven grandes en estas partes para provocar la posibilidad de desmagnetización. Por consiguiente, es necesario aumentar la fuerza coercitiva magnética en la región de superficie de lado de estator.

La figura 2 muestra una forma de onda de corriente cuando fluye la corriente de cortocircuito. Para comparar, también se muestra una forma de onda de corriente durante el funcionamiento nominal. Puede observarse que la corriente mucho mayor que la corriente durante el funcionamiento nominal fluye cuando se produce el cortocircuito. Cuando la corriente alcanza un pico en la forma de onda de corriente de cortocircuito, el campo diamagnético que actúa en el imán se vuelve el más grande. Se muestra una distribución de campo diamagnético en el imán permanente en este momento en la figura 3. En la figura 3, se muestran el núcleo 12 de rotor, el imán 13 permanente, el núcleo 16 de estator y las bobinas 17 y puede observarse que el campo diamagnético se vuelve superior en una parte más cerca a la superficie en la región de superficie de lado de estator A del imán.

La figura 4 muestra una distancia desde una superficie de lado de estator del imán permanente en un eje horizontal y una diferencia entre un campo diamagnético en cada distancia (profundidad) y un campo diamagnético en una parte central interior del imán permanente en un eje vertical. Puede observarse que el campo diamagnético es mayor en aproximadamente 260 kA/m a una distancia de 1 mm desde la superficie y en aproximadamente 200 kA/m a una distancia de 2 mm desde la superficie que el campo diamagnético en la parte central interior del imán. Por consiguiente, evitar la desmagnetización, es necesaria una fuerza coercitiva magnética extra para compensar el campo diamagnético y la fuerza coercitiva magnética extra requerida adecuada es de aproximadamente 260 kA/m o más a la distancia de 1 mm desde la superficie y de aproximadamente 200 kA/m o más a la distancia de 2 mm desde la superficie.

A modo de otro ejemplo, se muestra una máquina rotatoria de IPM en la que se disponen unos imanes permanentes en forma de V en la figura 5. La máquina 20 rotatoria de IPM en la figura 5 comprende un rotor 21 que tiene una pluralidad de imanes 23 permanentes incorporados en un núcleo 22 de rotor que es una laminación de chapas de acero magnético y un estator 25 que comprende bobinas 27 enrolladas alrededor de los respectivos dientes de un núcleo 26 de estator. Aunque este ejemplo es también la máquina rotatoria de 12 polos y 18 bobinas, es la máquina rotatoria de IPM en la que se disponen dos imanes permanentes en la forma de V por polo. Las flechas en la figura 5 muestran las direcciones de magnetización de los respectivos imanes permanentes.

Se muestra una distribución de campos diamagnéticos que actúan en los imanes cuando la corriente de cortocircuito fluye en la máquina rotatoria de IPM en la que se disponen los imanes permanentes en forma de V en la figura 6. En la figura 6, se muestran el núcleo 22 de rotor, los imanes 23 permanentes y las bobinas 27. De la misma manera que en la figura 3, el campo diamagnético es más fuerte en las partes más cerca a la superficie en la región de superficie de lado de estator A del imán y los valores son los mismos que los de la figura 4.

A partir de lo anterior, dado que la fuerza coercitiva magnética del imán usado por el generador tal como el generador de energía eólica grande, es adecuado usar el imán en el que la fuerza coercitiva magnética en la región de superficie de lado de estator es superior en aproximadamente 300 kA/m a la de la parte central interior del imán. La región de superficie de lado de estator del imán es una región desde la superficie hasta la profundidad de 5 mm o menos, preferiblemente una región desde la superficie hasta la profundidad de 4 mm, más preferiblemente una región desde la superficie hasta la profundidad de 3 mm, todavía más preferiblemente una región desde la superficie hasta la profundidad de 2 mm. De manera adicionalmente preferiblemente, la fuerza coercitiva magnética en la región de superficie de lado de estator desde la superficie hasta la profundidad de 1 mm del imán es superior en 500 kA/m a la de la parte central interior del imán.

Como el enfoque para aumentar la fuerza coercitiva en la región de superficie del imán, es adecuado el tratamiento de difusión descrito anteriormente en el método de recubrimiento o en el método de pulverización catódica. Puesto que el efecto de aumentar la fuerza coercitiva magnética mediante el tratamiento de difusión es superior en la posición más cerca a la superficie del imán, el aumento de la fuerza coercitiva magnética para el tratamiento de difusión es especialmente eficaz en un entorno de imán que tiene la distribución de campo diamagnético mostrada en la figura 3. El aumento de la fuerza coercitiva magnética para el tratamiento de difusión es de aproximadamente

500 a 800 kA/m en las inmediaciones de la superficie del imán dependiendo de las condiciones de tratamiento y es el aumento suficiente de la fuerza coercitiva magnética para el imán que tiene la distribución de campo diamagnético mostrada en la figura 4. Puesto que el método para el tratamiento de difusión apenas reduce la densidad de flujo magnético residual, es posible mantener la densidad de flujo magnético residual superior a la del método convencional de usar un imán con fuerza coercitiva magnética alta de tal manera que pueda aumentarse la capacidad de generación eléctrica en generación de energía eólica.

Tal como se describió anteriormente, puesto que es necesario aumentar la fuerza coercitiva magnética sólo en la región de superficie de lado de estator del imán mediante el tratamiento de difusión, sólo una cara del imán tiene que tratarse en una etapa de tratamiento de difusión. Sin embargo, cuando el tratamiento de sólo una cara del imán en el método de recubrimiento o en el método de pulverización catódica aumenta el coste o reduce la productividad debido a la adición de una etapa extra tal como el enmascaramiento en comparación con el tratamiento de todas las caras, pueden tratarse no una cara sino todas las caras. Cuando se tratan todas sus caras, la fuerza coercitiva magnética aumenta en todas las regiones de superficie en el imán. Tal aumento en todas las regiones de superficie no afecta de manera adversa al imán o al generador y no se vuelve un problema siempre que la fuerza coercitiva magnética aumente al menos en la región de superficie de lado de estator. Por el contrario, cuando sólo se trata una cara, tiene que insertarse el imán en el interior del rotor con esta cara tratada orientada hacia el estator sin fallos y por tanto es necesario tomar medidas para evitar el error de que la cara tratada del imán se oriente en una dirección opuesta en el ensamblaje. Cuando se tratan todas las caras, un error de este tipo no sucederá. Teniendo en cuenta estos puntos, puede usarse el imán con todas las caras tratadas.

Ejemplos

Aunque las realizaciones de la invención se describirán a continuación en detalle usando ejemplos, la invención no se limita a ellos.

Ejemplo 1

Se proporcionaron una pluralidad de imanes sinterizados basados en Nd rectangulares que tenían dimensiones de 100 mm por 100 mm por 20 mm y magnetizaron en la dirección del grosor 20 mm y se sometieron al tratamiento de difusión. El tratamiento de difusión se llevo a cabo mezclando fluoruro de disprosio granular con etanol, sumergiendo los imanes en esta mezcla en la que se enmascararon las caras de cada uno de los imanes excluyendo una cara perpendicular a la dirección de magnetización, y calentando después los imanes en una atmósfera de Ar a 900°C durante una hora. Se cortaron cubos con una longitud de lado de 1 mm de una parte entre el centro de la cara que estaba sometiéndose al tratamiento de difusión y la profundidad a una distancia de 1 mm desde la cara tratada, y desde una parte central interior, respectivamente, de uno de los imanes. Después las fuerzas coercitivas magnéticas medidas fueron 1700 kA/m para la cara del imán tratada por difusión y 1200 kA/m para la parte central interior del imán.

Se montaron los imanes en un generador de 12 polos y 18 bobinas que tenía un diámetro de rotor de 600 mm y una longitud de árbol de 1000 mm mostrado en la figura 1 de tal manera que se orientaron las caras con las fuerzas coercitivas magnéticas aumentadas hacia el estator. Después se llevó a cabo una prueba de generación de potencia. Un rotor y un estator tenían estructuras de laminación de chapas de acero magnético que tenían un grosor de 0,5 mm y se enrollaron bobinas de manera concentrada para formar conexiones Y trifásicas.

Cuando se llevo a cabo el funcionamiento nominal a una velocidad de rotación de 1500 rpm, la carga de salida fue de aproximadamente 3 MW y la corriente pico de las bobinas fue 3000 A. A continuación, se llevó a cabo una prueba de cortocircuito rotando el rotor del generador a una velocidad de rotación de 1500 rpm con una carga cortocircuitada. Como resultado, la corriente de bobina incrementó hasta 9300 A. Después de que terminase la prueba de cortocircuito, se midió la fuerza electromotriz a la velocidad de rotación de 1500 rpm para estudiar la desmagnetización del imán. La tensión de la línea fue 620 V, que fue exactamente el mismo valor que ese antes de la prueba de cortocircuito. Por consiguiente, se confirmó que los imanes no se desmagnetizaron en absoluto. Haciendo que la fuerza coercitiva magnética en la región de superficie de lado de estator del imán sea 500 kA/m superior a la de la parte central interior tal como se describió anteriormente, pudo obtenerse el generador en el que no se produce desmagnetización.

Ejemplo 2

Se proporcionaron una pluralidad de imanes fabricados del mismo material y que tienen las mismas dimensiones que las del ejemplo 1, se sumergieron en la misma disolución de tratamiento de difusión que la del ejemplo 1 sin enmascararse, y se calentaron de la misma manera que en el ejemplo 1. Se cortaron cubos con una longitud de lado de 1 mm de una parte entre los centros de las seis caras que se sometieron al tratamiento de difusión y las profundidades a una distancia de 1 mm desde los centros de las seis caras tratadas, y desde una parte central interior, respectivamente, de uno de los imanes. Entonces, las fuerzas coercitivas magnéticas medidas fueron 1700 kA/m para cada una de las seis caras del imán tratadas por difusión y 1200 kA/m para la parte central interior del imán.

Se montaron los imanes en el mismo generador que en el ejemplo 1, se llevo a cabo la misma prueba de cortocircuito, y se midió la fuerza electromotriz antes y después de la prueba. Como resultado, la fuerza electromotriz fue la misma antes y después de la prueba de cortocircuito, mostrando una tensión de línea de 620 V. Por consiguiente, se confirmó que no se produjo desmagnetización ni siquiera haciendo que las fuerzas coercitivas magnéticas en las superficies distintas de la superficie de lado de estator sean tan altas como en la superficie de lado de estator en comparación con las de en las partes centrales interiores de los imanes.

Ejemplo 1 comparativo

Se proporcionaron una pluralidad de imanes compuestos por el mismo material y que tenían las mismas dimensiones que en el ejemplo 1 que no se habían sometido al tratamiento de difusión y se llevó a cabo la misma prueba que en el ejemplo 1. Antes de montarse, tenían 1200 kA/m de fuerza coercitiva magnética medida. Se llevo a cabo una prueba de cortocircuito y después se halló que la fuerza electromotriz era de 620 V antes de la prueba de cortocircuito y era de 520 V después de la prueba de cortocircuito, mostrando una reducción de aproximadamente el 16%. Se confirmó que se producía desmagnetización en los imanes cuyas fuerzas coercitivas magnéticas no habían aumentado en las superficies de lado de estator.

REIVINDICACIONES

1. Máquina (10) rotatoria de imán permanente, comprendiendo la máquina (10) un rotor (11) y un estator (15) dispuesto con un huelgo desde una cara periférica exterior del rotor y formado enrollando un hilo (17) de enrollamiento a través de un núcleo (16) de estator que tiene dos o más ranuras, comprendiendo el rotor (11) uno o más imanes (13) permanentes en cada uno de los dos o más orificios de inserción (A), estando los orificios de inserción formados en una dirección circunferencial en un núcleo (12) de rotor, caracterizada porque cada uno de los imanes (13) permanentes está enfrentado a una región de superficie de lado de estator que se ha sometido a difusión de Dy o Tb para aumentar la fuerza coercitiva magnética sólo en la región de superficie de lado de estator, de tal manera que la fuerza coercitiva magnética en la región de superficie de lado de estator de cada uno de los imanes (13) permanentes es mayor que la de en una parte central interior de cada imán permanente en 300 kA/m o más, siendo la parte central interior una parte interior a una profundidad de al menos 5 mm desde cualquier cara exterior de cada imán (13) permanente.
2. Máquina rotatoria de imán permanente según la reivindicación 1, en la que cada uno de los imanes permanentes tiene forma de rectángulo que tiene un lado de 10 mm o más largo en la dirección circunferencial y un lado de 10 mm o más largo a lo largo de un árbol rotativo.
3. Máquina rotatoria de imán permanente según la reivindicación 1 ó 2, en la que los imanes permanentes son imanes sinterizados de tierras raras basados en Nd.
4. Máquina rotatoria de imán permanente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que dicha región de superficie de lado de estator se ha sometido a difusión de Dy o Tb en un método de recubrimiento o un método de pulverización catódica.
5. Máquina de imán permanente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, implementada en un generador de energía eólica grande que tiene una salida nominal de 1 MW o superior.
6. Método de fabricación de un rotor adaptado para una máquina rotatoria de imán permanente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, comprendiendo la máquina el rotor y un estator dispuesto con un huelgo desde una cara periférica exterior del rotor y formado enrollando un hilo de enrollamiento a través de un núcleo de estator que tiene dos o más ranuras, comprendiendo el método una etapa de proporcionar uno o más imanes permanentes destinados a alojarse en cada uno de los dos o más orificios de inserción del rotor, estando los orificios de inserción formados en una dirección circunferencial en un núcleo de rotor, incluyendo cada uno de los imanes permanentes una región de superficie de lado de estator, comprendiendo dicho método una etapa de aumentar la fuerza coercitiva magnética sólo en la región de superficie de lado de estator al someter dicha región de superficie de lado de estator a difusión de Dy o Tb, de tal manera que una fuerza coercitiva magnética en la región de superficie de lado de estator de cada uno de los imanes permanentes es mayor que la de en una parte central interior en 300 kA/m o más, siendo la parte central interior una parte interior a una profundidad de al menos 5 mm desde cualquier cara exterior del imán permanente.
7. Método según la reivindicación 6, en el que dicha difusión de Dy o Tb usa un método de recubrimiento o un método de pulverización catódica.
8. Método según la reivindicación 6 ó 7, en el que cada uno de los imanes permanentes tiene forma de rectángulo que tiene un lado de 10 mm o más largo en la dirección circunferencial y un lado de 10 mm o más largo a lo largo de un árbol rotativo.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que los imanes permanentes son imanes sinterizados de tierras raras basados en Nd.
10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que dicha difusión de Dy o Tb incluye una etapa de difundir Dy o Tb desde una superficie de imán de lado de estator hacia el interior.

FIG.1

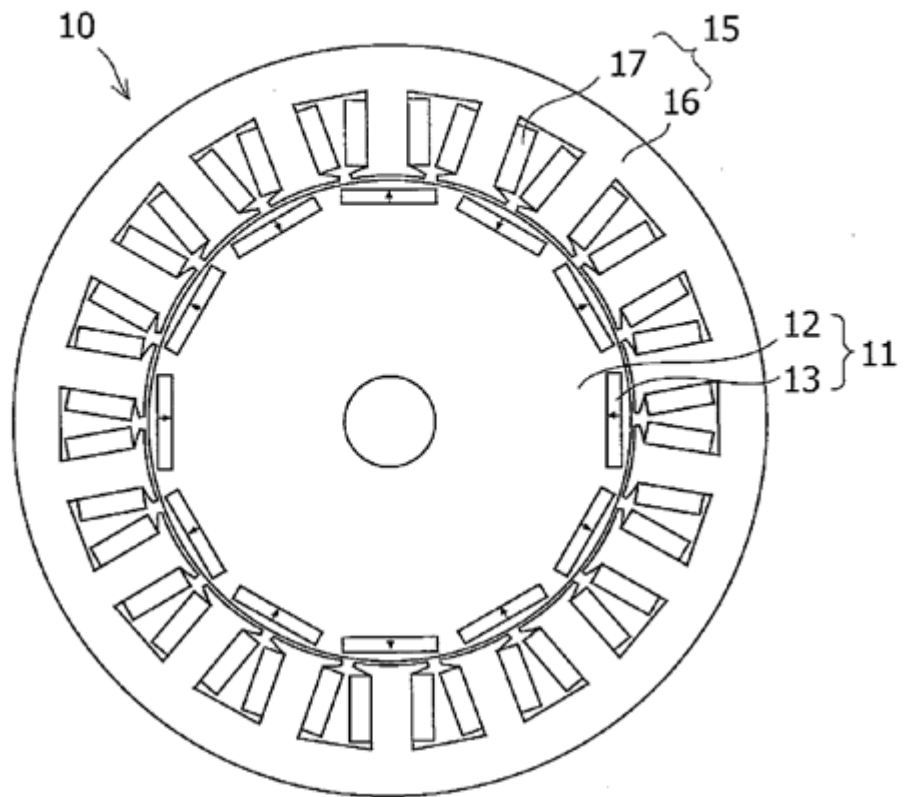


FIG.2

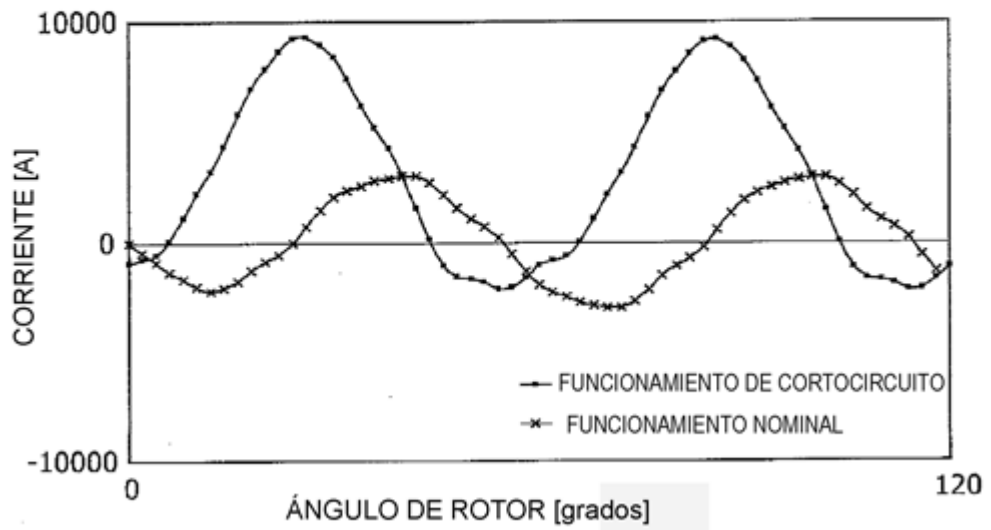


FIG.3

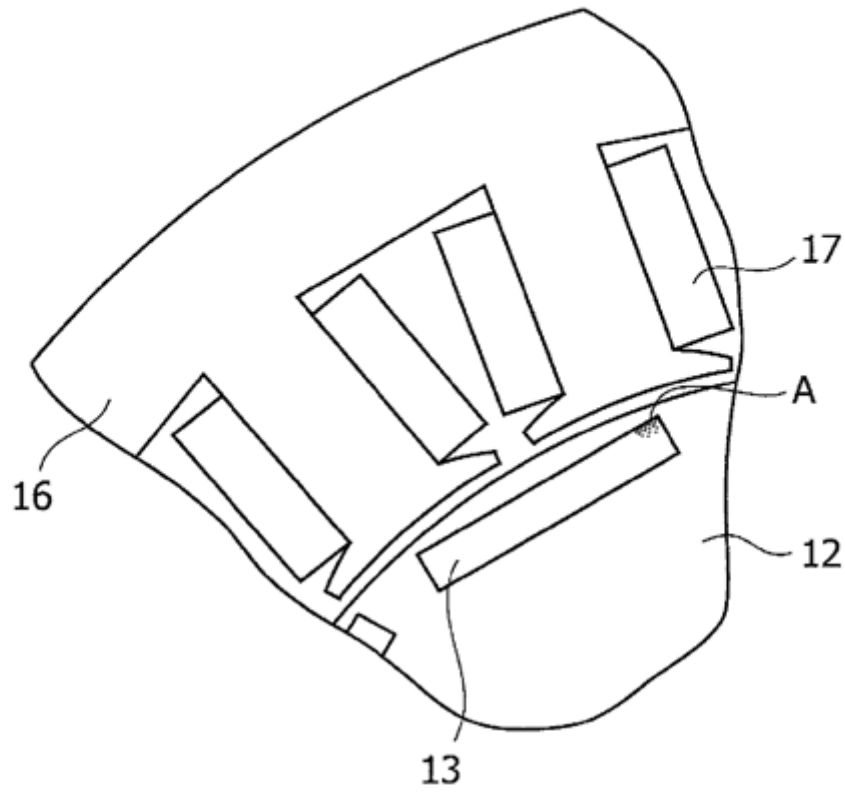


FIG.4

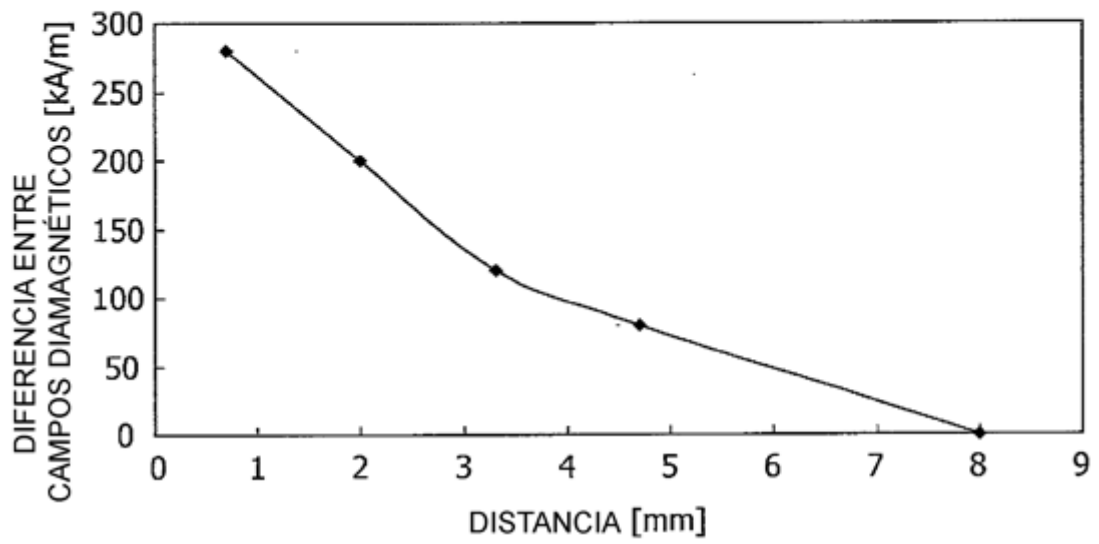


FIG.5

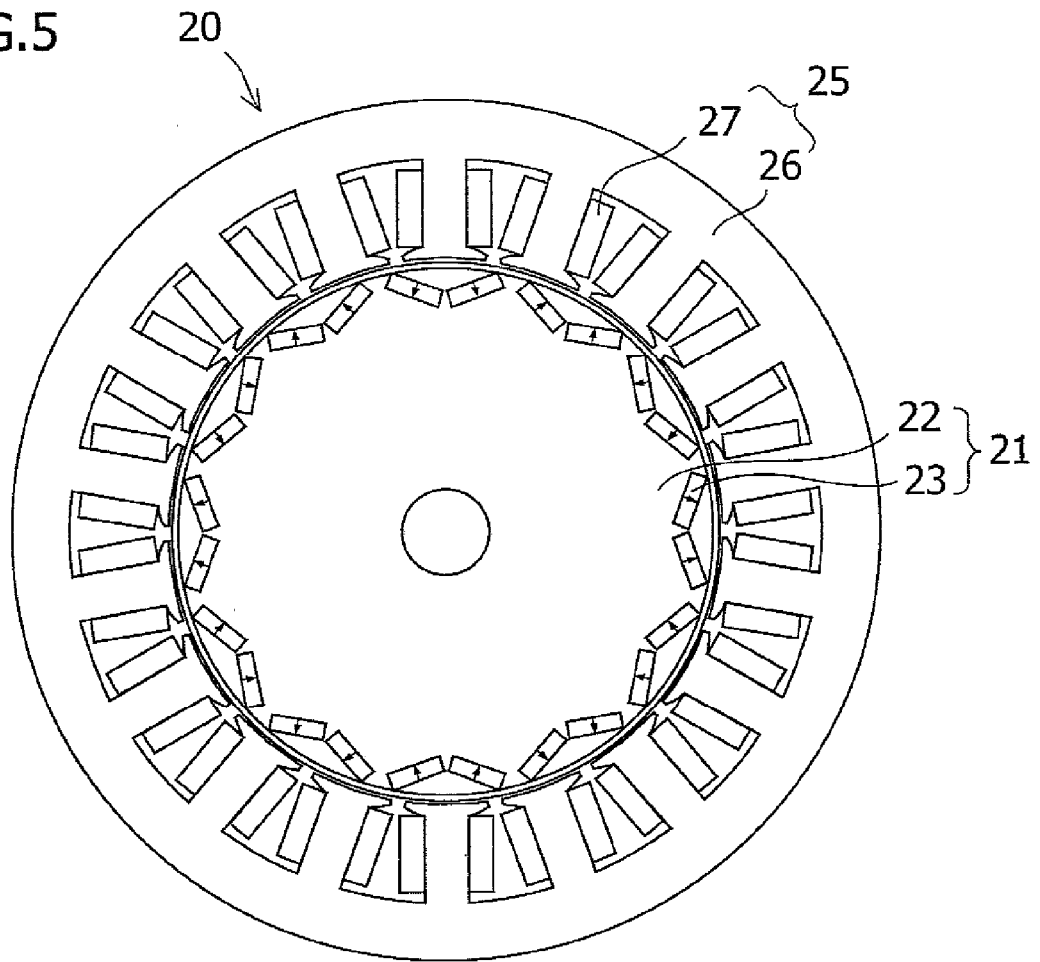


FIG.6

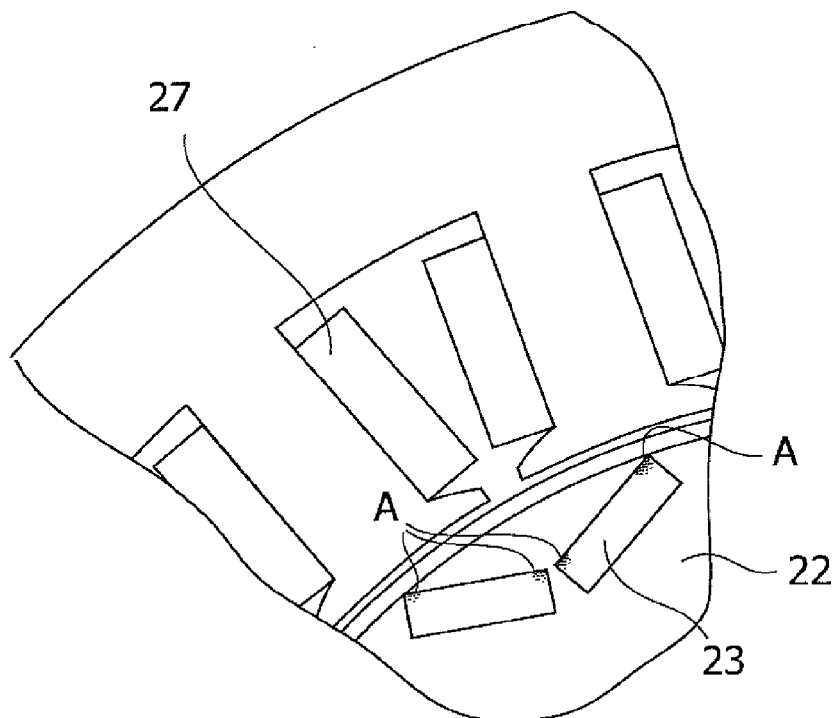


FIG.7

