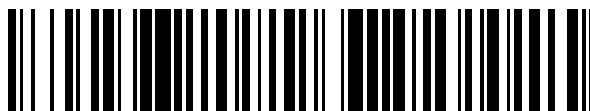


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 514 765**

51 Int. Cl.:

H02K 1/27

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2011** **E 11758186 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.08.2014** **EP 2617121**

54 Título: **Rotor para máquina de polos modulados**

30 Prioridad:

20.09.2010 US 384514 P
17.09.2010 DK 201000833

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
28.10.2014

73 Titular/es:

HÖGANÄS AB (PUBL) (100.0%)
Bruksgatan 35
26383 Höganäs, SE

72 Inventor/es:

ATKINSON, GLYNN;
JACK, ALAN y
PENNANDER, LARS-OLOV

ES 2 514 765 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 para máquina de polos modulados

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un rotor para máquinas de polos modulados tales como un motor, y más particularmente a un rotor para máquinas de polos modulados que pueden fabricarse fácilmente en grandes cantidades y son adecuadas para su funcionamiento a alta velocidad.

10

Antecedentes de la invención

A lo largo de los años, los diseños de máquinas eléctricas tales como máquinas de polos modulados, por ejemplo máquinas de polos de garras, máquinas de Lundell y máquinas de flujo transversal (TFM), se han vuelto cada vez más interesantes. Las máquinas eléctricas que usan los principios de estas máquinas ya se dieron a conocer aproximadamente en 1910 por Alexandersson y Fessenden. Uno de los motivos más importantes para el creciente interés es que el diseño permite un rendimiento de par motor muy alto en relación, por ejemplo, con las máquinas de inducción, las máquinas de reluctancia conmutada e incluso las máquinas sin escobillas de imanes permanentes. Además, tales máquinas son ventajosas en cuanto a que la bobina a menudo es fácil de fabricar. Sin embargo, uno de los inconvenientes del diseño es que normalmente son relativamente costosas de fabricar y que experimentan una alta dispersión de flujo que provoca un bajo factor de potencia y una necesidad de más material magnético. El bajo factor de potencia requiere de un circuito electrónico de potencia de mayor tamaño (o fuente de alimentación cuando la máquina se usa de manera síncrona) que también aumenta el volumen, peso y coste del mecanismo total.

25

El estator de máquina eléctrica de polos modulados está caracterizado básicamente por el uso de una única bobina central que alimentará magnéticamente a múltiples dientes formados por una estructura de núcleo magnético blando. Después el núcleo magnético blando se forma alrededor de la bobina, mientras que para otras estructuras de máquinas eléctricas comunes la bobina se forma alrededor de un diente de la sección de núcleo. Ejemplos de la topología de máquinas de polos modulados se reconocen a veces, por ejemplo, como máquinas de polos de garras, de tres patas, de Lundell o de TFM. La máquina de polos modulados con imanes incrustados está caracterizada además por una estructura de rotor activo que incluye una pluralidad de imanes permanentes que están separados por secciones polares del rotor.

30

35

El documento US 2006/0103254 da a conocer un rotor para una máquina eléctrica que tiene un núcleo de rotor con una pluralidad de polos.

El documento EP 1777795 da a conocer un conjunto de polos de imanes permanentes para un rotor que incluye una pluralidad de laminaciones.

40

El documento WO 2007/024184 da a conocer una estructura de rotor activo construida a partir de un número par de segmentos, en la que la mitad del número de segmentos están compuestos por material magnético blando y la otra mitad del número de segmentos están compuestos por material de imán permanente. Los imanes permanentes están dispuestos de modo que el sentido de magnetización de los imanes permanentes es sustancialmente circunferencial, es decir los polos norte y sur, respectivamente, apuntan en una dirección sustancialmente circunferencial.

45

Generalmente es deseable proporcionar un rotor para una máquina de polos modulados que sea relativamente económico en cuanto a su producción y ensamblaje. Adicionalmente es deseable proporcionar un rotor de este tipo que tenga buenos parámetros de comportamiento, tales como alta estabilidad estructural, baja reluctancia magnética, guiado eficiente de la trayectoria de flujo, bajo peso e inercia, etc.

50

Las máquinas de imanes incrustados pueden usarse para máquinas eléctricas de alta potencia, alta velocidad, por ejemplo máquinas para su uso en vehículos eléctricos e híbridos. Estas máquinas ofrecen unas ventajas de peso, tamaño, eficiencia y coste significativas sobre las tecnologías alternativas. Uno de los beneficios se refiere a la reducción en la potencia de servicio (y por tanto coste) del convertidor usado para accionar la máquina que se acumula a la reducción en la corriente que se produce cuando la máquina tiene un par motor significativo que resulta de los efectos de la reluctancia magnética. El par motor de reluctancia se produce cuando tiene lugar reluctancia magnética diferente en ejes que están separados medio paso polar. Las máquinas que tienen esta característica se describen como que presentan saliencia.

60

Una configuración común para estas máquinas es que el entrehierro entre el estator y el rotor está situado en un plano circunferencial/axial. Tanto en el estator como en el rotor tienen lugar campos magnéticos cambiantes y por tanto puede ser deseable emplear materiales para el núcleo magnético tanto en el estator como en el rotor que proporcionen aislamiento eléctrico para evitar las altas pérdidas que tendrían lugar por corrientes parásitas inducidas en el núcleo por estos campos cambiantes.

65

En algunas máquinas de imanes permanentes de alta velocidad que usan imanes incrustados, un factor limitante pueden ser los esfuerzos mecánicos provocados por las fuerzas centrífugas que resultan de la rotación. Las fuerzas se ejercen sobre los imanes, que a menudo son débiles en cuanto a tensión, y sobre el núcleo de rotor laminado.

5 Sumario

Según un primer aspecto, en el presente documento se da a conocer un rotor para una máquina de polos modulados de rotor interno, estando configurado el rotor para generar un campo magnético del rotor para su interacción con un campo magnético del estator de un estator de la máquina de polos modulados, en el que dicho rotor está adaptado para rotar alrededor de un eje longitudinal del rotor, definiendo el rotor durante la rotación una superficie externa cilíndrica que rodea el eje longitudinal; en el que el rotor comprende:

- una pluralidad de imanes permanentes dispuestos de manera circunferencial alrededor del eje longitudinal, estando magnetizado cada imán permanente en un sentido de magnetización para generar un flujo magnético,

- una pluralidad de elementos de guiado de flujo axiales adaptados cada uno para proporcionar una trayectoria de flujo al menos bidimensional para el flujo magnético generado por uno respectivo de la pluralidad de imanes permanentes, comprendiendo la trayectoria de flujo bidimensional una componente axial;

- una estructura de soporte que comprende un elemento de soporte tubular interno dispuesto radialmente hacia dentro de la pluralidad de imanes permanentes; y

- al menos un elemento de guiado de flujo externo adaptado para proporcionar una trayectoria en al menos una dirección radial para el flujo magnético generado por uno o más de la pluralidad de imanes permanentes; en el que los elementos de guiado de flujo axiales son componentes separados diferentes del elemento de guiado de flujo externo.

Por tanto, en el presente documento se dan a conocer realizaciones de un rotor de imanes permanentes que muestran una trayectoria de flujo magnético eficiente en la dirección axial de la máquina en un diseño que usa una trayectoria de flujo de entrehierro principal en la dirección radial.

Además, realizaciones del rotor dadas a conocer en el presente documento tienen una alta saliencia, es decir, muestran una variación significativa de la reluctancia de trayectoria de flujo global entre un eje longitudinal (d) y uno transversal (q) de una representación adecuada, proporcionando por tanto un par motor de reluctancia adicional significativo. En máquinas de imanes incrustados la diferencia en reluctancia puede facilitarse usando material magnético laminado para canalizar el flujo magnético a través de los imanes en un eje en ángulo recto (es decir, eléctricamente un ángulo igual a la mitad de un paso polar) a su magnetización.

Además, realizaciones del rotor descritas en el presente documento proporcionan un entrehierro bien definido, incluso a altas velocidades rotacionales del rotor.

La pluralidad de imanes permanentes puede estar dispuesta de modo que se invierte el sentido de magnetización de uno de cada dos imanes alrededor de la circunferencia. De ese modo secciones polares individuales del rotor sólo pueden interactuar con imanes que muestran la misma polaridad.

En algunas realizaciones los imanes permanentes están montados sobre una superficie de montaje externa del elemento de soporte tubular interno.

El rotor puede comprender cualquier número de imanes permanentes tal como entre 2 y 200, entre 5 y 60 o entre 10 y 30. El elemento de soporte tubular interno y/o uno externo pueden tener cualquier longitud axial. En algunas realizaciones, la longitud axial del elemento de soporte tubular interno y/o externo corresponde a la longitud axial de los imanes permanentes y/o los elementos de guiado de flujo axiales.

El rotor, por ejemplo la estructura de soporte, puede comprender medios para transferir el par motor generado por la interacción entre el rotor y el estator. En algunas realizaciones la estructura de soporte está conectada a un árbol para transferir el par motor generado.

En algunas realizaciones, los elementos de guiado de flujo axiales están compuestos por un material magnético blando tal como polvo magnético blando, simplificando de ese modo la fabricación del rotor, y proporcionando una concentración de flujo magnético eficiente, que utiliza la ventaja de trayectorias de flujo tridimensionales eficientes en el material magnético blando permitiendo componentes de trayectoria de flujo radiales, axiales y circunferenciales. De ese modo los elementos de guiado de flujo axiales pueden realizarse de manera eficaz en la misma operación mediante el uso de un método de formación de polvo en el que la formación puede realizarse en una única configuración de herramienta de compactación. Además, el grosor radial del rotor puede reducirse ya que la trayectoria de flujo en las tres dimensiones puede proporcionarse de manera eficiente en un único elemento de guiado de flujo. Esto permite además imanes tangencialmente más anchos, puesto que entonces los imanes

permanentes pueden situarse sobre un diámetro mayor con un perímetro mayor y el diámetro de entrehierro se mantiene constante. Esto puede permitir el uso de imanes menos costosos (por ejemplo ferritas), al tiempo que se aumenta su grosor y área de sección transversal para proporcionar una fuerza de campo magnético suficiente.

El polvo magnético blando puede ser, por ejemplo, un polvo de hierro magnético blando o polvo que contiene Co o Ni o aleaciones que contienen partes de los mismos. El polvo magnético blando puede ser un polvo de hierro atomizado con agua sustancialmente puro o un polvo de hierro esponjoso que tiene partículas con formas irregulares que se han recubierto con un aislamiento eléctrico. En este contexto el término "sustancialmente puro" significa que el polvo debe estar sustancialmente libre de inclusiones y que la cantidad de impurezas O, C y N debe mantenerse a un mínimo. Los tamaños de partícula promedio están generalmente por debajo de 300 μm y por encima de 10 μm .

Sin embargo, puede usarse cualquier polvo de metal o polvo de aleación de metal magnético blando siempre que las propiedades magnéticas blandas sean suficientes y que el polvo sea adecuado para la compactación en molde.

El aislamiento eléctrico de las partículas de polvo puede realizarse de un material inorgánico. Es especialmente adecuado el tipo de aislamiento dado a conocer en el documento US 6348265, que se refiere a partículas de un polvo de base que consiste en hierro esencialmente puro que tiene una barrera aislante que contiene oxígeno y fósforo. Polvos que tienen partículas aisladas están disponibles como Somaloy® 500, Somaloy® 550 o Somaloy® 700, disponibles de Höganäs AB, Suecia.

El elemento de guiado de flujo externo proporciona una trayectoria de flujo magnético radial y una superficie de interacción orientada radialmente hacia fuera hacia un entrehierro activo del rotor, permitiendo al flujo magnético comunicarse con el estator por medio del entrehierro activo. El elemento de guiado de flujo externo puede proporcionar además una trayectoria de flujo circunferencial; en particular, el elemento de guiado de flujo externo puede proporcionar una trayectoria de flujo al menos bidimensional en el plano radial/circunferencial. Cuando el elemento de guiado de flujo externo comprende una estructura de soporte tubular externa que rodea los imanes permanentes y los elementos de guiado de flujo axiales, la resistencia mecánica de la estructura de rotor aumenta permitiendo por tanto un funcionamiento a alta velocidad mejorado.

El elemento de guiado de flujo axial proporciona una trayectoria de flujo magnético axial. En algunas realizaciones el rotor comprende elementos de guiado de flujo axiales que pueden estar formados, por ejemplo, como componentes magnéticos blandos fabricados a partir de polvo de metal o como laminaciones orientadas esencialmente en un plano paralelo a la dirección axial del rotor, por ejemplo el plano radial/axial o el plano circunferencial/axial. El elemento de guiado de flujo axial puede proporcionar una trayectoria de flujo al menos bidimensional en el plano axial/circunferencial o el plano axial/radial, permitiendo por tanto una concentración de flujo axial y, al mismo tiempo, una comunicación eficaz de la trayectoria de flujo entre el elemento de guiado de flujo axial y el elemento de guiado de flujo externo. Los elementos de guiado de flujo axiales pueden estar situados por tanto para hacer que parte, o la totalidad, de la trayectoria de retorno magnética axial tenga lugar en el rotor. Por consiguiente, en realizaciones de una máquina de polos modulados es posible evitar una trayectoria magnética axial en el estator, permitiendo por tanto una construcción de estator más sencilla y menos costosa, y evitando trayectorias de dispersión magnética no deseadas que de otro modo pueden tener lugar alrededor únicamente de la bobina y alrededor únicamente del imán, sin vincular el imán y la bobina.

Los elementos de guiado de flujo axiales se proporcionan como componentes separados diferentes de los elementos de guiado de flujo externos. Los elementos de guiado de flujo axiales pueden estar dispuestos en una región radialmente hacia fuera de los imanes o tangencialmente adyacente a los imanes. Estos elementos de guiado de flujo axiales pueden estar dispuestos en ranuras o aberturas dentro de otras laminaciones dispuestas en la orientación radial/circunferencial para proporcionar la orientación correcta para minimizar corrientes parásitas que resultan de componentes circunferenciales del campo. Los elementos de guiado de flujo axiales pueden estar situados en una región en la que el campo es sustancialmente radial y/o axial (o en la que es sustancialmente constante), por ejemplo cerca de los imanes. Cuando los elementos de guiado de flujo axiales están formados como laminaciones, las laminaciones pueden estar orientadas con el plano de las laminaciones dispuesto en la dirección del sentido de magnetización del imán.

Los elementos de guiado de flujo axiales pueden sujetarse frente a fuerzas centrífugas en los extremos axiales del núcleo de rotor, por ejemplo mediante placas de extremo. En algunas realizaciones, el rotor comprende placas de extremo en cada extremo axial del rotor; y al menos una parte de cada elemento de guiado de flujo axial se extiende axialmente a través de respectivos orificios de las placas de extremo. Alternativa o adicionalmente, los elementos de guiado de flujo axiales pueden estar acoplados a otras estructuras de soporte en los respectivos extremos axiales del núcleo de rotor para soportar los elementos de guiado de flujo axiales en una dirección radial frente a fuerzas centrífugas. Los elementos de guiado de flujo axiales pasan entonces a ser vigas que soportan sus propios esfuerzos centrífugos pero también los esfuerzos centrífugos de los imanes, liberando a los radios en las laminaciones radiales/circunferenciales de esta función. Un beneficio adicional de sujetar los elementos de guiado de flujo axiales es que pueden eliminarse o al menos reducirse los radios en las laminaciones radiales/circunferenciales. Esto reduce o incluso evita los efectos de derivación magnética lo que a su vez permite

usar imanes más pequeños (y por tanto más económicos), dando por tanto como resultado una máquina más pequeña (y por tanto más económica).

Puesto que la estructura magnética del rotor no se ve perjudicada por la introducción de los elementos de guiado de flujo axiales ni siquiera por hacer que las dimensiones radiales de estas piezas sean sustanciales, puede haber una gran mejora en la capacidad de las realizaciones de la estructura de rotor definida en el presente documento para tratar fuerzas centrífugas. Esto significa que máquinas de una dimensión dada pueden trabajar sustancialmente más rápido proporcionando un aumento proporcional del rendimiento específico y una consiguiente reducción de tamaño, peso, eficiencia y coste. También significa que se facilitan rotores mucho más grandes (para aplicaciones de rendimiento más alto) que trabajan a una velocidad dada.

En algunas realizaciones, cuando los elementos de guiado de flujo axiales se sujetan frente a fuerzas centrífugas tal como se describió anteriormente, los elementos de guiado de flujo axiales pueden a su vez sujetar al menos una parte de las laminaciones radiales/circunferenciales del rotor, por ejemplo situando los elementos de guiado de flujo axiales en un orificio en las laminaciones radiales/circunferenciales. Esto permite un aumento adicional de la velocidad y/o el diámetro del rotor.

La combinación de elementos de guiado de flujo axiales (que pueden sujetarse en los extremos axiales del núcleo) con laminaciones radiales/circunferenciales en las disposiciones descritas en el presente documento mejora ampliamente la integridad mecánica y por tanto los límites de velocidad/tamaño mientras que al mismo tiempo proporciona una buena trayectoria magnética axial sin incurrirse en pérdidas importantes por corriente parásita.

Una buena trayectoria magnética axial en el rotor permite reducir o incluso eliminar la trayectoria de retorno magnética axial en el estator (es decir las garras) lo que significa una reducción de tamaño pero, lo que es más importante, una buena trayectoria axial es beneficiosa para conservar la saliencia y por tanto conseguir un par motor de reluctancia significativo. Esto es una característica altamente deseable si la máquina tiene que ser competitiva cuando se acciona mediante inversor.

Cuando los imanes permanentes están separados de manera circunferencial entre sí por respectivos elementos a modo de radios, se aumenta adicionalmente la resistencia mecánica de la estructura de rotor. Cuando los elementos a modo de radios están adaptados además para proporcionar una trayectoria de flujo magnético al menos en una dirección radial, se proporciona una estructura de rotor eficiente y compacta. Los elementos a modo de radios pueden estar compuestos por chapas metálicas laminadas.

En algunas realizaciones el elemento de soporte tubular está compuesto por chapas metálicas laminadas que proporcionan una trayectoria de flujo magnético en el plano radial-tangencial; los imanes permanentes están magnetizados en la dirección radial; y cada elemento de guiado de flujo axial está formado como un elemento de cuerpo de diente laminado con chapa metálica que se extiende en la dirección radial hacia fuera desde uno de los imanes permanentes, y adaptado para proporcionar una trayectoria de flujo magnético sustancialmente en el plano radial/axial; y el rotor comprende una pluralidad de elementos de guiado de flujo externos, cada uno formado como un elemento de punta de diente laminado con chapa metálica que se extiende radialmente hacia fuera desde uno respectivo de los elementos de cuerpo de diente laminado con chapa metálica, y adaptado para proporcionar una trayectoria de flujo magnético en el plano radial-tangencial. El laminado de chapa metálica puede ser un laminado de chapa de acero.

En algunas realizaciones el elemento de soporte tubular está compuesto por chapas metálicas laminadas que proporcionan una trayectoria de flujo magnético en al menos la dirección radial; y los imanes permanentes están magnetizados en la dirección radial; y cada uno de los elementos de guiado de flujo axiales está formado como un elemento de cuerpo de diente hecho a partir de un componente magnético blando, por ejemplo componente de polvo magnético blando, que se extiende en la dirección radial hacia fuera desde uno de los imanes permanentes y adaptado para proporcionar una trayectoria de flujo magnético en las tres dimensiones (radial, tangencial/circunferencial, axial). El elemento de guiado de flujo externo puede estar formado como una estructura tubular continua, por ejemplo un manguito, de chapas metálicas laminadas que rodea los elementos de cuerpo de diente.

En algunas realizaciones los imanes permanentes están magnetizados en la dirección circunferencial; cada imán permanente puede estar intercalado en la dirección circunferencial entre dos de los elementos de guiado de flujo axiales; y cada uno de los elementos de guiado de flujo axiales puede estar formado como un elemento laminado con chapa metálica adaptado para proporcionar una trayectoria de flujo magnético que tiene al menos una componente circunferencial y una axial. El elemento de guiado de flujo externo puede estar formado a partir de chapas metálicas laminadas que forman una estructura tubular que rodea los imanes permanentes y los elementos de guiado de flujo axiales. Las chapas metálicas laminadas que forman el elemento de guiado de flujo externo pueden comprender además elementos a modo de radios que se extienden radialmente hacia dentro desde el elemento tubular externo. Cada elemento a modo de radio puede separar, en la dirección circunferencial, dos de los imanes permanentes intercalados entre respectivos elementos de guiado de flujo axiales.

En algunas realizaciones, el rotor puede comprender dos elementos de guiado de flujo externos, teniendo cada uno una longitud axial más pequeña que la longitud axial de los imanes permanentes y/o los elementos de guiado de flujo axiales. En una realización de este tipo, los elementos de guiado de flujo externos pueden estar colocados proximales a los respectivos extremos axiales del rotor, dejando un hueco circunferencial entre ellos. Por consiguiente, ya que los elementos de guiado de flujo axiales permiten una concentración de flujo axial hacia la posición axial de los elementos de guiado de flujo externos, los elementos de guiado de flujo externos no necesitan cubrir toda la extensión axial de los imanes permanentes. Por tanto, el peso y/o momento de inercia de la estructura de rotor puede reducirse sin perjudicar significativamente a las propiedades magnéticas. En algunas realizaciones, la extensión y posición axial de los elementos de guiado de flujo externos puede limitarse para corresponder a la anchura axial del entrehierro activo entre el rotor y el estator. En algunas realizaciones, el hueco puede estar relleno al menos parcialmente por un elemento de soporte anular, por ejemplo una cinta, un manguito o un tubo, que sujeta los imanes permanentes y/o elementos de guiado de flujo axiales frente a fuerzas centrífugas. El elemento de soporte anular puede estar hecho a partir de material no magnético, por ejemplo aluminio, una aleación de magnesio, un material basado en polímero, un material compuesto, un material de fibra tal como fibras de vidrio, fibras de carbono o similares, o combinaciones de los anteriores.

Según otro aspecto, en el presente documento se da a conocer una máquina eléctrica rotativa, por ejemplo una máquina de polos modulados, comprendiendo dicha máquina un estator y un rotor tal como se describe en el presente documento. El estator puede ser un estator con o sin garras de polos de estator parcialmente solapantes.

En algunas realizaciones, el estator comprende: una primera sección de núcleo de estator que es sustancialmente circular y que incluye una pluralidad de dientes, una segunda sección de núcleo de estator que es sustancialmente circular y que incluye una pluralidad de dientes, una bobina dispuesta entre las secciones de núcleo de estator circulares primera y segunda, en el que la primera sección de núcleo de estator, la segunda sección de núcleo de estator, la bobina y el rotor rodean un eje geométrico común definido por el eje longitudinal del rotor, y en el que la pluralidad de dientes de la primera sección de núcleo de estator y la segunda sección de núcleo de estator están dispuestos para sobresalir hacia el rotor; en el que los dientes de la segunda sección de núcleo de estator están desplazados de manera circunferencial en relación con los dientes de la primera sección de núcleo de estator.

Los diferentes aspectos de la presente invención pueden implementarse de modos diferentes incluyendo el rotor y la máquina eléctrica rotativa descrita anteriormente y a continuación y dispositivos y medios de producto adicionales, proporcionando cada uno, uno o más de los beneficios y ventajas descritos en relación con al menos uno de los aspectos descritos anteriormente, y teniendo cada uno, una o más realizaciones preferidas correspondientes a las realizaciones preferidas descritas en relación con al menos uno de los aspectos descritos anteriormente y/o dados a conocer en las reivindicaciones dependientes. Además, se apreciará que las realizaciones descritas en relación con uno de los aspectos descritos en el presente documento pueden aplicarse igualmente a los otros aspectos.

Breve descripción de los dibujos

Los objetivos, características y ventajas anteriores y/o adicionales de la presente invención, se aclararán adicionalmente mediante la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitativa de realizaciones de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1a muestra una vista en perspectiva en despiece ordenado de una máquina de polos modulados de la técnica anterior.

La figura 1b muestra una vista en sección transversal de una máquina de polos modulados de la técnica anterior.

La figura 2 muestra una vista esquemática de un ejemplo de un estator para una máquina de polos modulados.

La figura 3 muestra una vista esquemática de otro ejemplo de un estator para una máquina de polos modulados.

Las figuras 4-6 muestran ejemplos de un rotor para una máquina de polos modulados.

Las figuras 7-8 muestran un ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados y un estator en diferentes posiciones relativas entre sí.

Las figuras 9-11 muestran ejemplos adicionales de un rotor para una máquina de polos modulados.

Las figuras 12a-d muestran vistas en sección transversal en un plano radial-axial de diferentes realizaciones de un rotor.

Las figuras 13a-b y 14a-b muestran ejemplos adicionales de un rotor para una máquina de polos modulados.

Descripción detallada

En la siguiente descripción, se hace referencia a las figuras adjuntas, que muestran a modo de ilustración cómo puede ponerse en práctica la invención.

Esta invención se encuentra en el campo de una máquina 100 eléctrica de polos modulados de la que se muestra un ejemplo en la figura 1a en una vista esquemática, en despiece ordenado y en perspectiva. El estator 10 de máquina eléctrica de polos modulados está caracterizado básicamente por el uso de una única bobina 20 central que alimentará magnéticamente a múltiples dientes 102 formados por la estructura de núcleo magnético blando. El núcleo de estator se forma entonces alrededor de la bobina 20 mientras que para otras estructuras de máquinas eléctricas comunes la bobina se forma alrededor de la sección de núcleo de diente individual. Ejemplos de la topología de máquina de polos modulados se reconocen a veces como, por ejemplo, máquinas de polos de garras, de tres patas, de Lundell o de TFM. Más particularmente la máquina 100 eléctrica de polos modulados mostrada comprende dos secciones 14, 16 de núcleo de estator que incluyen, cada una, una pluralidad de dientes 102 y que son sustancialmente circulares, una bobina 20 dispuesta entre las secciones de núcleo de estator circulares primera y segunda, y un rotor 30 que incluye una pluralidad de imanes 22 permanentes. Además, las secciones 14, 16 de núcleo de estator, la bobina 20 y el rotor 30 rodean un eje 103 geométrico común, y la pluralidad de dientes de las dos secciones 14, 16 de núcleo de estator están dispuestos para sobresalir hacia el rotor 30 para formar una trayectoria de flujo de circuito cerrado. La máquina en la figura 1 es de tipo radial ya que los dientes de estator sobresalen en una dirección radial hacia el rotor en este caso rodeando el estator al rotor. Sin embargo, el estator también podría estar situado de manera interior con respecto al rotor, tipo que también se ilustra en algunas de las siguientes figuras. El alcance de invención tal como se presenta a continuación no se restringe a ningún tipo específico de máquina eléctrica de polos modulados. Por ejemplo, la invención no se restringe a máquinas monofásicas sino que también puede aplicarse a máquinas polifásicas.

La estructura 30 de rotor activo está constituida por un número par de segmentos 22, 24 en la que la mitad del número de segmentos, también denominados secciones 24 polares del rotor, están compuestos por material magnético blando y la otra mitad del número de segmentos por material 22 de imán permanente. El método de la técnica anterior es producir estos segmentos como componentes individuales. A menudo, el número de segmentos puede ser bastante grande, normalmente del orden de 10-50 secciones individuales. Los imanes 22 permanentes están dispuestos de modo que los sentidos de magnetización de los imanes permanentes son sustancialmente circunferenciales, es decir el polo norte y el sur, respectivamente, están orientados en una dirección sustancialmente circunferencial. Además, uno de cada dos imanes 22 permanentes, contados de manera circular, está dispuesto teniendo su sentido de magnetización en el sentido opuesto en relación con los otros imanes permanentes. La funcionalidad magnética de las secciones 24 polares magnéticas blandas en la estructura de máquina deseada es completamente tridimensional y es necesario que la sección 24 polar magnética blanda pueda llevar de manera eficiente flujo magnético variable con alta permeabilidad magnética en las tres direcciones espaciales.

La figura 1b muestra la misma máquina eléctrica de polos modulados radiales de la figura 1 pero en una vista en sección transversal de la máquina ensamblada que muestra más claramente cómo se extienden los dientes 102 de estator hacia el rotor y cómo se están desplazados rotacionalmente los dientes de estator de las dos secciones 14, 16 de núcleo de estator unos con respecto a otros.

La figura 2 muestra una vista esquemática de un ejemplo de un estator para una máquina de polos modulados. La figura 3 muestra una vista esquemática de otro ejemplo de un estator para una máquina de polos modulados. Ambos estatores comprenden dos secciones 14, 16 de núcleo de estator, y una bobina 20 intercalada entre las secciones de núcleo de estator; y las secciones de núcleo de estator tienen cada una, una pluralidad de dientes 102 que se extienden radialmente de manera que los dientes de estator de las dos secciones 14, 16 de núcleo de estator están desplazadas rotacionalmente unas con respecto a otras; todo según se describe en relación con la figura 1. Aunque el estator de la figura 2 es similar al estator descrito en relación con la figura 1, los dientes 102 del estator de la figura 3 están formados como polos de garras, es decir tienen secciones 302 polares de garras que se extienden axialmente. Las secciones 302 polares de garras se extienden axialmente desde las puntas de los dientes 102 que sobresalen radialmente hacia la bobina y la otra respectiva sección polar del estator. Los polos de garras se extienden de manera axial parcialmente a través de la longitud axial del estator.

A continuación, se describirán en mayor detalle ejemplos de rotores que pueden usarse como parte de la máquina eléctrica de polos modulados mostrada en las figuras 1a-b y/o en combinación con uno de los estatores mostrados en las figuras 2 y 3. Ha de entenderse que los rotores descritos en esta solicitud pueden usarse junto con estatores de máquinas de polos modulados de tipos diferentes del descrito anteriormente.

La figura 4 muestra un ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. En particular, la figura 4a muestra una vista en perspectiva de un rotor mientras que la figura 4b muestra una vista en sección trasversal del rotor y un correspondiente estator de una máquina de polos modulados, por ejemplo un estator tal como se muestra en la figura 2. El rotor de la figura 4 comprende un elemento 403 de soporte central tubular que rodea un eje 404 longitudinal del rotor. El elemento de soporte tubular define una abertura 405 central para recibir un árbol o eje para

accionarse mediante el rotor. La estructura 403 de soporte tubular está compuesta por chapas de acero laminadas anulares que están apiladas en la dirección axial, es decir la laminación define planos paralelos a un plano radial/circunferencial. El rotor comprende además un número par de imanes 422 permanentes distribuidos de manera uniforme alrededor de la superficie circunferencial externa del elemento 403 de soporte tubular. Cada imán permanente se extiende axialmente a lo largo de las longitudes axiales de la estructura de soporte tubular. En el ejemplo, los imanes permanentes están formados como placas relativamente delgadas que tienen superficies rectangulares opuestas. Una superficie radialmente hacia dentro está conectada, por ejemplo pegada, fijada mecánicamente, o similar, a la superficie externa del elemento de soporte tubular. Los imanes permanentes están magnetizados en la dirección radial del rotor y proporcionan un flujo magnético que se extiende a través del imán permanente en la dirección radial, es decir a través de la superficie radialmente hacia dentro y la superficie radialmente hacia fuera opuesta a la superficie radialmente hacia dentro. Los imanes permanentes están dispuestos con polaridad alternante de manera que los imanes permanentes colindantes, según se observa en una dirección circunferencial, de cada imán permanente tienen una orientación de su campo magnético diferente a la del imán permanente con el que colindan.

El rotor comprende además una pluralidad de elementos 401 de guiado de flujo axiales que proporcionan al menos una trayectoria de flujo magnético axial, dispuestos cada uno sobre la superficie radialmente hacia fuera de uno respectivo de los imanes permanentes. Cada elemento de guiado de flujo axial está formado como un bloque de chapas de acero laminadas. Las chapas de acero son chapas rectangulares que están apiladas en la dirección circunferencial para formar un bloque que tiene sustancialmente la misma dimensión axial y tangencial que los imanes permanentes y para definir planos en las direcciones axial y sustancialmente radial.

El rotor comprende además una pluralidad de elementos 402a y 402b de guiado de flujo externos de manera que dos elementos 402a,b de guiado de flujo externos están dispuestos sobre la superficie radialmente hacia fuera de cada uno de los elementos 401 de guiado de flujo axiales. Por tanto, los elementos de guiado de flujo axiales y los elementos de guiado de flujo externos forman juntos respectivos dientes o polos de rotor que se extienden radialmente en los que los elementos de guiado de flujo axiales forman los cuerpos de diente mientras que los elementos de guiado de flujo externos forman las puntas de diente. Los elementos de guiado de flujo externos están formados como bloques de chapas de acero laminadas apiladas en la dirección axial. Las chapas tienen una forma generalmente trapezoidal, pero con el más largo de los lados paralelos del trapecioide formado como línea curvada. Las chapas están dispuestas en planos perpendiculares al eje longitudinal del rotor, es decir definen planos en el plano circunferencial/radial. Además, las chapas laminadas están dispuestas con sus lados curvados hacia fuera de manera que los elementos de guiado de flujo externos definen juntos una circunferencia circular. Los elementos de guiado de flujo externos tienen una longitud axial más pequeña que la dimensión axial del rotor, y están dispuestos por parejas en los elementos 401 de guiado de flujo axiales de manera que están separados en la dirección axial por un hueco 406 central.

Tal como se ilustra en la figura 4b, cuando se montan como parte de una máquina eléctrica rotativa, los elementos de guiado de flujo externos están alineados axialmente con los dientes 14, 16 de una de las secciones de núcleo de estator de un estator. Cuando los elementos de guiado de flujo externos están alineados de manera circunferencial con respectivos dientes, el rotor proporciona una trayectoria de flujo tridimensional, en la que el flujo radial que se extiende a través de los imanes 422 permanentes se concentra axialmente en los elementos 401 de guiado de flujo axiales y se suministra radialmente por los elementos de guiado de flujo externos hacia el entrehierro 409 activo y un correspondiente diente del estator. El elemento 403 de soporte interno proporciona una trayectoria de flujo radial y circunferencial para permitir al flujo magnético comunicarse de un imán permanente a un imán permanente colindante. El rotor mostrado en la figura 4 es muy adecuado para su uso en una máquina de polos modulados que comprende un estator tal como se muestra en la figura 2, concretamente un estator que tiene dientes sin polos de garras (o al menos relativamente pequeños), es decir dientes que sólo se extienden a lo largo de una parte, por ejemplo menos de la mitad, de la extensión axial de (una sección monofásica de) el estator.

Por tanto, las diferentes orientaciones de los laminados en el elemento 403 de soporte interno, los elementos 401 de guiado de flujo axiales y los elementos 402a,b de guiado de flujo externos se eligen para soportar una trayectoria de flujo tridimensional en el rotor incluyendo una concentración de flujo al menos axial.

La figura 5 muestra otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. En particular, la figura 5a muestra una vista en perspectiva de un rotor mientras que la figura 5b muestra una vista en sección transversal del rotor y un correspondiente estator de una máquina de polos modulados, por ejemplo un estator de polos de garras tal como se muestra en la figura 3. El rotor de la figura 5 es similar al rotor de la figura 4 y comprende un elemento 503 de soporte interno tubular, laminado con chapa, una pluralidad de imanes 522 permanentes magnetizados radialmente dispuestos con polaridad alternante alrededor de la circunferencia del elemento 503 de soporte interno, elementos 501 de guiado de flujo axiales laminados con chapa dispuestos radialmente hacia fuera de cada imán permanente, todos tal como se describen en relación con la figura 4.

El rotor de la figura 5 comprende además elementos 502 de guiado de flujo externos laminados con chapa, similares a los elementos 402a,b de guiado de flujo externos de la figura 4, pero que se extienden axialmente a lo largo de toda la longitud axial del rotor, o al menos una parte sustancial de la longitud axial del rotor. Por tanto, en el ejemplo

de la figura 5, sólo está conectado un único elemento de guiado de flujo externo a cada elemento 501 de guiado de flujo axial.

El rotor de la figura 5 es por tanto particularmente adecuado en combinación con un estator de polos de garras, por ejemplo un estator tal como se muestra en la figura 3, tal como se ilustra en la figura 5b.

La figura 6 muestra otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. El rotor de la figura 6 es similar al rotor de la figura 5 en cuanto a que comprende un elemento 603 de soporte interno tubular, laminado con chapa, y una pluralidad de imanes 622 permanentes magnetizados radialmente dispuestos con polaridad alternante alrededor de la circunferencia del elemento 603 de soporte interno, todos tal como se describen en relación con la figura 5.

El rotor de la figura 6 comprende además una pluralidad de elementos 601 de guiado de flujo axiales, dispuestos cada uno en la superficie radialmente hacia fuera de uno respectivo de los imanes 622 permanentes. Cada elemento de guiado de flujo axial está formado como un bloque de un material magnético blando, por ejemplo compuesto por un polvo magnético blando que usa un proceso pulvimetalúrgico adecuado. Por tanto, los elementos 601 de guiado de flujo axiales magnéticos blandos facilitan una trayectoria de flujo en las tres dimensiones, ya que el componente magnético blando no incluye planos laminados que limitarían en efecto la trayectoria de flujo a dos dimensiones. Por consiguiente, el elemento 601 de guiado de flujo axial magnético blando combina las propiedades de guiado de flujo del elemento 501 de guiado de flujo axial y el elemento 502 de guiado de flujo externo de la figura 5 en un único componente.

Sin embargo, el rotor de la figura 6 comprende un elemento 602 de guiado de flujo externo formado como una estructura tubular o manguito compuesto por chapas de acero anular apiladas y laminadas en la dirección axial. El elemento 602 de guiado de flujo externo rodea los elementos 601 de guiado de flujo axiales y proporciona tanto una trayectoria de flujo magnético eficiente como también un aumento de la estabilidad mecánica del rotor, ya que contrarresta las fuerzas centrífugas que actúan sobre los imanes permanentes y elementos de guiado de flujo axiales durante la rotación a alta velocidad del rotor.

Además, el uso de un componente magnético blando como elemento 601 de guiado de flujo axial permite reducir el grosor radial del elemento de guiado de flujo axial en comparación con la suma del grosor radial del cuerpo de diente y la punta de diente en los ejemplos de las figuras 4 y 5. Esto permite imanes tangencialmente más anchos, puesto que los imanes permanentes pueden situarse en un diámetro mayor con un perímetro mayor y el diámetro del entrehierro se mantiene constante. Esto puede permitir el uso de imanes más económicos (por ejemplo ferritas) con un grosor y un área de sección transversal aumentados para proporcionar una fuerza de campo magnético igual.

El elemento 602 de guiado de flujo externo tubular está dotado de surcos 612 que se extienden axialmente de manera circunferencial colocados entre elementos 601 de guiado de flujo axiales colindantes, es decir alineados de manera circunferencial con los huecos 611. Los surcos 612 dan como resultado un grosor reducido de la estructura tubular, dando por tanto como resultado un aumento de la resistencia magnética en la dirección circunferencial, reduciendo por tanto la dispersión de flujo.

El par motor de una máquina eléctrica, tal como una máquina de polos modulados, se refiere al flujo magnético que atraviesa el entrehierro entre componentes de estator y rotor. La trayectoria de flujo magnético siempre muestra un circuito cerrado continuo.

En una máquina de polos modulados, el flujo magnético se induce por los imanes permanentes y las corrientes eléctricas en las bobinas del estator. Dependiendo de la posición rotacional relativa del rotor y el estator, pueden distinguirse dos tipos de par motor: el par motor síncrono y el par motor de reluctancia.

Las figuras 7 y 8 ilustran las trayectorias de flujo de realizaciones de rotores dados a conocer en el presente documento que proporcionan par motor síncrono y de reluctancia, respectivamente. Las figuras 7 y 8 ilustran las trayectorias de flujo de un rotor tal como se muestra en la figura 4. Se apreciará que los otros ejemplos de rotores descritos en el presente documento proporcionan trayectorias de flujo similares.

La figura 7 muestra el rotor de la figura 4 en combinación con un estator tal como se muestra en la figura 2. En particular, en la figura 7, el rotor está colocado de manera circunferencial de manera que uno de cada dos elementos 402a,b de guiado de flujo externos está alineado de manera circunferencial con uno correspondiente de los dientes de estator. Los elementos de guiado de flujo externos restantes están alineados con respectivos huecos entre dientes de estator. Por tanto, en la posición mostrada en la figura 7, cada imán permanente tiene una trayectoria de flujo por medio de uno de los elementos de guiado de flujo axiales conectados al mismo y por medio del entrehierro 409 activo con un único diente 102 de estator del estator. La trayectoria de flujo magnético en esta posición se denomina la trayectoria de flujo de par motor síncrono. Un ejemplo de la trayectoria de flujo de par motor síncrono se ilustra en la figura 7 como líneas 707.

Generalmente, la trayectoria 707 de flujo de par motor síncrono pasa a través de los imanes 422 permanentes de rotor. Este flujo alcanza un pico en la denominada posición de eje d en la que los dientes de estator y los polos de

rotor están alineados de manera circunferencial entre sí. Esta posición se ilustra en la figura 7. Por tanto la fuente para el par motor síncrono es tanto el flujo de imanes permanentes como el flujo de la bobina.

La figura 8 muestra el rotor de la figura 4 en combinación con un estator tal como se muestra en la figura 2. En particular, en la figura 8, el rotor está colocado de manera circunferencial, de manera que cada diente 102 de estator está alineado de manera circunferencial con un hueco entre dos elementos 402a,b de guiado de flujo externos colindantes de manera que cada diente de estator tiene un entrehierro común con respectivas partes de dos elementos 402a,b de guiado de flujo externos colindantes. La trayectoria de flujo magnético en esta posición se denomina trayectoria de flujo de par motor de reluctancia. Un ejemplo de la trayectoria de flujo de par motor de reluctancia se ilustra en la figura 8 como líneas 807.

Generalmente, la trayectoria 807 de flujo de par motor de reluctancia sólo pasa a través de la estructura de acero magnética blanda del rotor. Este flujo alcanza un pico en la denominada posición de eje q en la que todos los dientes de estator están orientados hacia los polos de rotor al mismo tiempo, es decir cuando una ranura entre dos polos de rotor está centrada en el medio de un diente de estator, tal como se ilustra en la figura 8. Esto crea una corta trayectoria de flujo con baja reluctancia que puede dar como resultado par motor adicional de la máquina. La fuente para el par motor de reluctancia es el flujo de la bobina de la bobina 20 de estator.

La figura 9 muestra otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. El rotor de la figura 9 es similar al rotor de la figura 5 en cuanto a que comprende un elemento 903 de soporte interno tubular, laminado con chapa, una pluralidad de imanes 922 permanentes magnetizados radialmente dispuestos con polaridad alternante alrededor de la circunferencia del elemento 903 de soporte interno, elementos 901 de guiado de flujo axiales laminados con chapa dispuestos radialmente hacia fuera de cada imán 922 permanente, todos tal como se describen en relación con la figura 5.

El rotor de la figura 9 comprende además elementos 902 de guiado de flujo externos laminados con chapa, similares a los elementos 502 de guiado de flujo externos de la figura 5. Sin embargo, mientras los elementos 502 de guiado de flujo externos de la figura 5 están separados de manera circunferencial entre sí por respectivos huecos 511, los elementos 902 de guiado de flujo externos están conectados entre sí por partes 912 de puente que se extienden axialmente para formar una estructura circunferencial continua que rodea los elementos 901 de guiado de flujo axiales. Además, la estructura circunferencial continua está conectada al elemento 903 de soporte interno por radios 923 que se extienden radialmente que se extienden a lo largo de los huecos entre elementos de guiado de flujo axiales colindantes. Por consiguiente, el elemento 903 de soporte interno, los elementos 902 de guiado de flujo externos, y los radios 923 pueden estar formados por una única estructura laminada con chapa formada a partir de chapas de acero generalmente anulares apiladas en la dirección axial, que tienen cada una un recorte central que proporciona una abertura central para un árbol, y recortes distribuidos de manera circunferencial para recibir los imanes permanentes y elementos de guiado de flujo axiales. Por tanto, se proporciona una estructura de rotor particularmente sencilla de fabricar que proporciona trayectorias de flujo eficientes y alta resistencia mecánica, incluso a altas velocidades rotacionales en la que los radios impiden que se deforme la estructura circunferencial continua del elemento de guiado de flujo externo.

En la parte 912 de puente, la estructura circunferencial está dotada de un grosor reducido para reducir la dispersión de flujo.

Aunque la realización de la figura 9 se muestra con elementos de guiado de flujo externos axialmente continuos, similares al ejemplo de la figura 5, se apreciará que la realización de la figura 9 puede modificarse para proporcionar un par de elementos de guiado de flujo externos axialmente separados para cada imán permanente, similar a la realización de la figura 4. Con este fin, la estructura laminado de acero que forma el elemento de soporte interno, los elementos de guiado de flujo externos y los radios puede estar formada por chapas de acero de diferentes formas, en la que las chapas centrales sólo proporcionan un elemento anular interno y las chapas axialmente periféricas tiene la forma mostrada en la figura 9.

La figura 10 muestra otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. El rotor de la figura 10 es similar al rotor de la figura 6 en cuanto a que comprende un elemento 1003 de soporte interno tubular, laminado con chapa, una pluralidad de imanes 1022 permanentes magnetizados radialmente dispuestos con polaridad alternante alrededor de la circunferencia del elemento 1003 de soporte interno, elementos 1001 de guiado de flujo axiales magnéticos blandos dispuestos radialmente hacia fuera de cada imán 1022 permanente, y un elemento 1002 de guiado de flujo externo formado como una estructura tubular hecha de chapa de acero anular apilada y laminada en la dirección axial, todos tal como se describen en relación con la figura 6.

Además, la estructura 1002 tubular está conectada al elemento 1003 de soporte interno por radios 1023 que se extienden radialmente que se extienden a lo largo de los huecos entre elementos 1001 de guiado de flujo axiales colindantes. Por consiguiente, el elemento 1003 de soporte interno, el elemento 1002 de guiado de flujo externo y los radios 1023 pueden estar formados por una única estructura laminada con chapa formada a partir de chapas de acero generalmente anulares apiladas en la dirección axial, que tienen cada una un recorte central que proporciona una abertura central para un árbol, y recortes distribuidos de manera circunferencial para recibir los imanes

permanentes y elementos de guiado de flujo axiales.

Por tanto, los rotores de las figuras 4-10 comprenden todos imanes permanentes que están magnetizados en la dirección radial del rotor tal como se ilustra mediante flechas de puntos en las figuras 4-6, 9-10, y proporcionan un flujo magnético que se extiende a través del imán permanente en la dirección radial, es decir a través de la superficie radialmente hacia dentro y la superficie radialmente hacia fuera opuesta a la superficie radialmente hacia dentro. Los imanes permanentes están dispuestos con polaridad alternante de manera que los imanes permanentes colindantes, vistos en una dirección circunferencial, de cada imán permanente tienen una orientación de su campo magnético diferente de la del imán permanente con el que colindan.

La figura 11 muestra otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. El rotor de la figura 11 comprende un elemento 1103 de soporte tubular central que rodea un eje longitudinal del rotor. El elemento de soporte tubular define una abertura central para recibir un árbol o eje que va a accionarse mediante el rotor. Generalmente, la estructura 1103 de soporte tubular puede estar compuesta por cualquier material adecuado, por ejemplo material no magnético, por ejemplo aluminio, una aleación de magnesio, un material basado en polímero, un material compuesto, un material de fibra tal como fibras de vidrio, fibras de carbono o similares, o combinaciones de los anteriores, ya que la estructura 1103 de soporte no forma parte del circuito magnético del rotor. El rotor comprende además un número par de imanes 1122 permanentes distribuidos alrededor de la superficie circunferencial externa del elemento 1103 de soporte tubular. Cada imán permanente se extiende axialmente a lo largo de las longitudes axiales de la estructura de soporte tubular. En el ejemplo de la figura 11, los imanes permanentes están formados como placas relativamente delgadas que tienen paredes laterales y superficies rectangulares opuestas. Una pared lateral radialmente hacia dentro hace tope y puede estar conectada, por ejemplo pegada o fijada mecánicamente de otro modo, con la superficie externa del elemento de soporte tubular. Los imanes permanentes están magnetizados en la dirección circunferencial del rotor y proporcionan un flujo magnético que se extiende a través del imán permanente en la dirección circunferencial/tangencial tal como se ilustra mediante flechas de puntos, es decir a través de las superficies rectangulares. Los imanes permanentes están dispuestos con polaridad alternante de manera que los imanes permanentes colindantes, vistos en una dirección circunferencial, de cada imán permanente tienen una orientación de su campo magnético diferente de la del imán permanente con el que colindan. En el ejemplo de la figura 11, el elemento de soporte interno comprende salientes 1133 que se extienden axialmente, por ejemplo extrusiones que sobresalen radialmente del elemento de soporte interno, sobre las que se disponen los imanes permanentes. Los salientes soportan las cargas de par motor. Los imanes pueden estar pegados a esta estructura, pero puesto que el gran anillo laminado soporta los imanes y elementos de flujo axiales en la dirección radial, puede no ser necesaria una fijación adicional de los imanes. Cada imán permanente está intercalado en la dirección circunferencial entre dos elementos 1101a,b de guiado de flujo axiales. Cada elemento de guiado de flujo axial está formado como un bloque de chapas de acero laminadas. Las chapas de acero son chapas rectangulares que están apiladas para formar un bloque que tiene sustancialmente la misma dimensión axial y radial que los imanes permanentes y para definir planos en las direcciones axial y tangencial (tangencial a la posición del imán permanente). Por tanto, los elementos 1101a,b de guiado de flujo axiales proporcionan una trayectoria de flujo axial y tangencial al flujo magnético saliente/entrante de los imanes permanentes en la dirección circunferencial.

El rotor comprende además un elemento 1102 de guiado de flujo externo formado como una estructura tubular que incluye elementos 1123 a modo de radios que se extienden radialmente hacia dentro desde la estructura de soporte tubular y que separan juegos colindantes de imanes permanentes y elementos de guiado de flujo axiales. El elemento de guiado de flujo externo y los elementos a modo de radios están compuestos por chapas de acero anulares apiladas y laminadas en la dirección axial. El elemento 1102 de guiado de flujo externo rodea los elementos 1101a,b de guiado de flujo axiales y los imanes permanentes y proporciona tanto una trayectoria de flujo magnético circunferencial y radial eficiente como también un aumento de la estabilidad mecánica del rotor, ya que contrarresta las fuerzas centrífugas que actúan sobre los imanes permanentes y elementos de guiado de flujo axiales durante la rotación a alta velocidad del rotor. Los salientes 1133 tienen una sección transversal en forma de cuña con una base estrecha y una parte radialmente hacia fuera más ancha. Los radios 1123 tienen un extremo radialmente hacia dentro correspondientemente más ancho, que permite por tanto que los radios engranen y queden sujetos por los salientes. Alternativa o adicionalmente, los radios pueden estar acoplados al elemento 1103 de soporte interno de otro modo.

En las diversas realizaciones descritas en el presente documento, los elementos de guiado de flujo axiales pueden sujetarse frente a fuerzas centrífugas en los extremos axiales del núcleo de rotor, por ejemplo mediante placas de extremo, tal como se ilustra en las figuras 12a-d.

Las figuras 12a-d muestran vistas en sección transversal en un plano radial-axial de diferentes realizaciones de un rotor.

La figura 12a muestra una vista en sección transversal en un plano radial-axial del rotor de la figura 5 que comprende un elemento 1203 de soporte interno tubular, laminado con chapa, una pluralidad de imanes 1222 permanentes magnetizados radialmente dispuestos con polaridad alternante alrededor de la circunferencia del elemento 1203 de soporte interno, elementos 1201 de guiado de flujo axiales laminados con chapa dispuestos

radialmente hacia fuera de cada imán permanente, y elementos 1202 de guiado de flujo externos laminados con chapa, todo tal como se describe en relación con la figura 5. La figura 12a ilustra además un árbol 1244 central sobre el que puede montarse el rotor.

- 5 La figura 12b muestra una vista en sección transversal en un plano radial-axial de un rotor similar al rotor de la figura 12a, pero en el que el elemento 1201 de guiado de flujo axial se extiende axialmente más allá de los imanes 1222 permanentes y el elemento 1202 de guiado de flujo externo. El rotor comprende placas 1245 de extremo entre las que están intercalados los imanes 1222 permanentes y el elemento 1202 de guiado de flujo externo en la dirección axial. El elemento 1201 de guiado de flujo axial sobresale axialmente a través de correspondientes orificios en las
- 10 placas 1245 de extremo. Las placas de extremo pueden estar compuestas por un material no magnético, por ejemplo aluminio, una aleación de magnesio, un material basado en polímero, un material compuesto, un material de fibra tal como fibras de vidrio, fibras de carbono o similares, o combinaciones de las anteriores. Las placas de extremo soportan la estructura de rotor mecánicamente a altas velocidades y cargas.
- 15 La figura 12c muestra una vista en sección transversal en un plano radial-axial de un rotor similar al rotor de la figura 12b, pero en el que el elemento 1201 de guiado de flujo axial tiene una parte 1201a estrecha que tiene la misma longitud axial que el elemento de guiado de flujo externo, y una parte 1201b extendida que sobresale axialmente a través de correspondientes orificios en las placas 1245 de extremo. En el ejemplo de la figura 12c la parte estrecha está radialmente hacia fuera y la parte extendida está radialmente hacia dentro. En el ejemplo de la figura 12c, las
- 20 placas 1245 de extremo tienen forma de placas anulares que cubren radialmente el elemento de guiado de flujo externo y la parte estrecha del elemento de guiado de flujo axial. Las placas de extremo y los elementos de guiado de flujo axiales que se extienden parcialmente de manera axial soportan la estructura de rotor mecánicamente a altas velocidades y cargas.
- 25 La figura 12d muestra una vista en sección transversal en un plano radial-axial de un rotor similar al rotor de la figura 12c, pero en el que el elemento 1202 de guiado de flujo externo está soportado además por un pasador 1246 que se extiende axialmente. El pasador 1246 se extiende a través de correspondientes orificios en las chapas laminadas del elemento de guiado de flujo externo y correspondientes orificios en las placas 1245 de extremo. Por tanto, el pasador está soportado por las placas de extremo no magnéticas.
- 30 Se apreciará que aunque se ha ilustrado una sujeción axial de los elementos de guiado de flujo con referencia al rotor de la figura 5, los elementos de guiado de flujo de las otras realizaciones de un rotor descritas en el presente documento pueden sujetarse del mismo modo.
- 35 Por ejemplo, cuando se añaden placas de extremo no magnéticas al rotor de la figura 9, la carga en los puentes 923 se reduce, ya que entonces los puentes 923 sólo necesitan soportar los laminados 924.
- Las figuras 13a y 13b muestran otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. El rotor de las figuras 13a-b es similar al rotor de la figura 11 y por tanto no se describirá en detalle de nuevo. El rotor de las figuras 13a-b difiere del rotor en la figura 11 en que el rotor de las figuras 13a-b comprende dos elementos 1102a y 1102b de guiado de flujo externos, dispuestos proximales a los respectivos extremos axiales del rotor, dejando por tanto un hueco 1331 circunferencial entre los mismos. Cada uno de los dos elementos de guiado de flujo está formado como una estructura tubular que incluye elementos 1123 a modo de radios que se extienden radialmente hacia dentro desde la estructura tubular y que separan juegos colindantes de imanes permanentes y elementos de guiado de flujo
- 40 axiales. Los elementos de guiado de flujo externos y los elementos a modo de radios están compuestos por chapas de acero anulares apiladas y laminadas en la dirección axial. Cada uno de los elementos 1102a-b de guiado de flujo externos rodea los elementos 1101a,b de guiado de flujo axiales y los imanes 1122 permanentes y proporciona tanto una trayectoria de flujo magnético radial y circunferencial eficiente como también un aumento de la estabilidad mecánica del rotor, ya que contrarresta las fuerzas centrífugas que actúan sobre los imanes permanentes y elementos de guiado de flujo axiales durante la rotación a alta velocidad del rotor. La anchura axial de cada elemento de guiado de flujo externo puede seleccionarse para coincidir con la anchura axial del entrehierro activo formado con el estator.
- 45 Las figuras 14a y 14b muestran otro ejemplo de un rotor para una máquina de polos modulados. El rotor de las figuras 14a-b es similar al rotor de las figuras 13a-b y por tanto no se describirá en detalle de nuevo. En particular, el rotor de las figuras 14a-b también comprende dos elementos 1102a y 1102b de guiado de flujo externos, dispuestos proximales a los respectivos extremos axiales del rotor, dejando por tanto un hueco circunferencial entre los mismos. En el ejemplo de la figura 14a-b, un manguito 1431 circunferencial está dispuesto en el hueco entre los elementos de guiado de flujo externos. El manguito 1431 sujeta los imanes permanentes y/o elementos de guiado de flujo
- 50 axiales frente a fuerzas centrífugas. El manguito 1431 puede estar hecho a partir de un material no magnético, tal como aluminio, una aleación de magnesio, un material basado en polímero, un material compuesto, un material de fibra tal como fibras de vidrio, fibras de carbono o similares, o combinaciones de los anteriores. Por tanto, el manguito aumenta la estabilidad mecánica del rotor sin afectar negativamente al flujo magnético.
- 55 Aunque se han descrito y mostrado en detalle algunas realizaciones, la invención no se limita a las mismas, sino que también pueden implementarse de otros modos dentro del alcance del contenido definido en las siguientes
- 60
- 65

reivindicaciones. En particular, ha de entenderse que pueden utilizarse otras realizaciones, y que pueden realizarse modificaciones estructurales y funcionales sin apartarse del alcance de la presente invención.

Pueden usarse realizaciones de la invención dadas a conocer en el presente documento para un motor de accionamiento directo de rueda para una bicicleta eléctrica u otro vehículo accionado eléctricamente, en particular un vehículo de peso ligero. Tales aplicaciones pueden imponer requisitos de alto par motor, velocidad relativamente baja y bajo coste. Estos requisitos pueden satisfacerse mediante un motor con un número de polos relativamente alto en una geometría compacta usando un pequeño volumen de imanes permanentes y bobinas de cable para ajustarse y cumplir los requisitos de coste mediante la rutina mejorada de ensamblaje de rotor.

En reivindicaciones de dispositivo que indican varios medios, varios de estos medios pueden implementarse mediante un único elemento físico. El mero hecho de que determinadas medidas se indiquen en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí o se describan en diferentes realizaciones no indica que no pueda usarse ventajosamente una combinación de estas medidas.

Cabe resaltar que el término “comprende/que comprende” cuando se usa en esta memoria descriptiva se entiende que especifica la presencia de características, números enteros, etapas o componentes indicados pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, componentes o grupos de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Rotor para una máquina de polos modulados de rotor interno, estando configurado el rotor para generar un campo magnético del rotor para su interacción con un campo magnético del estator de un estator de la máquina de polos modulados, en el que dicho rotor está adaptado para rotar alrededor de un eje longitudinal del rotor; en el que el rotor comprende:
 - una pluralidad de imanes (422) permanentes dispuestos de manera circunferencial alrededor del eje longitudinal, estando magnetizado cada imán permanente en un sentido de magnetización para generar un flujo magnético o bien radial o bien tangencial,
 - una pluralidad de elementos (401) de guiado de flujo axiales cada uno en contacto con dicha pluralidad de imanes permanentes y adaptados para proporcionar una trayectoria de flujo al menos bidimensional para el flujo magnético generado por uno o más de la pluralidad de imanes permanentes, comprendiendo la trayectoria de flujo bidimensional una componente axial,
 - una estructura de soporte que comprende un elemento (403) de soporte tubular interno dispuesto radialmente hacia dentro de la pluralidad de imanes permanentes y que soporta dichos imanes (422); y
 - al menos un elemento (402a, 402b) de guiado de flujo externo dispuesto sobre o rodeando un elemento de guiado de flujo axial correspondiente y adaptado para proporcionar una trayectoria en al menos una dirección radial para el flujo magnético generado por uno o más de la pluralidad de imanes permanentes que dirige dicho flujo hacia el estator, en el que los elementos de guiado de flujo axiales son componentes separados diferentes del elemento de guiado de flujo externo.
2. Rotor según la reivindicación 1, en el que el elemento de guiado de flujo externo comprende una estructura (602, 902) de soporte tubular externa que rodea los imanes (922) permanentes y los elementos (601, 901) de guiado de flujo axiales.
3. Rotor según la reivindicación 2, que comprende además una pluralidad de elementos (923) a modo de radios que se extienden radialmente entre la estructura de soporte tubular externa y el elemento (903) de soporte tubular interno.
4. Rotor según la reivindicación 3, en el que los elementos a modo de radios están formados como partes integrales de al menos uno del elemento de guiado de flujo externo y el elemento (903) de soporte tubular interno.
5. Rotor según la reivindicación 3 ó 4; en el que los imanes permanentes están separados de manera circunferencial entre sí por respectivos elementos a modo de radios.
6. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que los elementos a modo de radios están adaptados además para proporcionar una trayectoria de flujo magnético al menos en una dirección radial.
7. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que los elementos a modo de radios están compuestos por chapas metálicas laminadas.
8. Rotor según la reivindicación 7, en el que las chapas metálicas laminadas que forman los elementos a modo de radios están dispuestas en respectivos planos radiales-circunferenciales.
9. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de guiado de flujo externo está compuesto por chapas metálicas laminadas.
10. Rotor según la reivindicación 9, en el que las chapas metálicas laminadas que forman el elemento de guiado de flujo externo están dispuestas en respectivos planos radiales-circunferenciales.
11. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de soporte tubular interno está compuesto por chapas metálicas laminadas.
12. Rotor según la reivindicación 11, en el que las chapas metálicas laminadas que forman el elemento de soporte tubular interno están dispuestas en respectivos planos radiales-circunferenciales.
13. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el elemento de soporte tubular interno está compuesto por un material no magnético.
14. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de guiado de flujo axiales está compuesto por chapas metálicas laminadas.

- 5
15. Rotor según la reivindicación 14, en el que las chapas metálicas laminadas que forman cada uno de la pluralidad de elementos de guiado de flujo axiales están dispuestas en respectivos planos que tienen al menos una extensión axial y una circunferencial.
16. Rotor según la reivindicación 14, en el que las chapas metálicas laminadas que forman cada uno de la pluralidad de elementos de guiado de flujo axiales están dispuestas en respectivos planos que tienen al menos una extensión axial y una radial.
- 10 17. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de guiado de flujo axiales está compuesto por un material magnético blando que proporciona una trayectoria de flujo tridimensional.
- 15 18. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sentido de magnetización de los imanes permanentes tiene al menos una componente radial.
19. Rotor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sentido de magnetización de los imanes permanentes tiene al menos una componente circunferencial.
- 20 20. Máquina eléctrica que comprende un estator y un rotor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19.

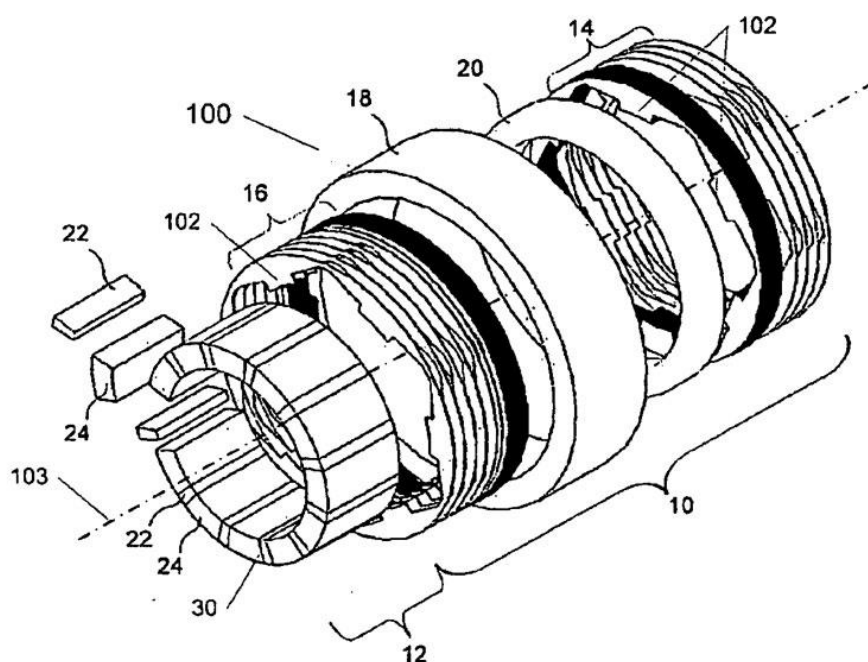


Fig. 1a(técnica anterior)

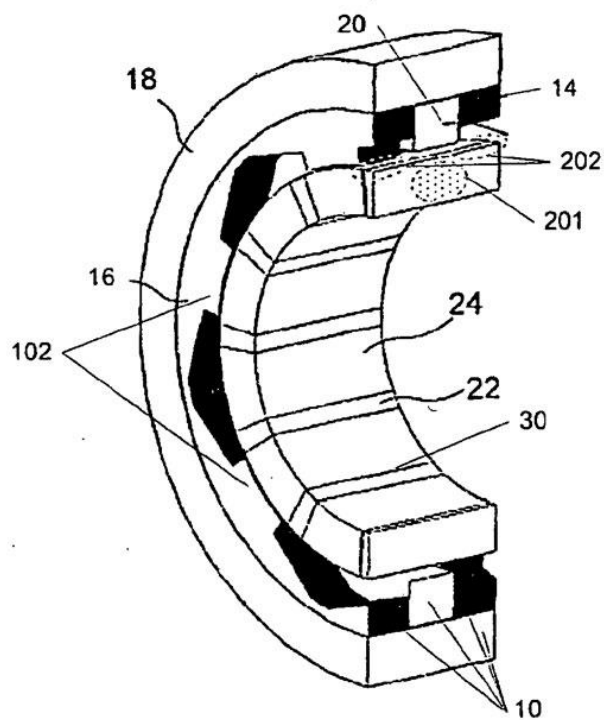


Fig. 1b(técnica anterior)

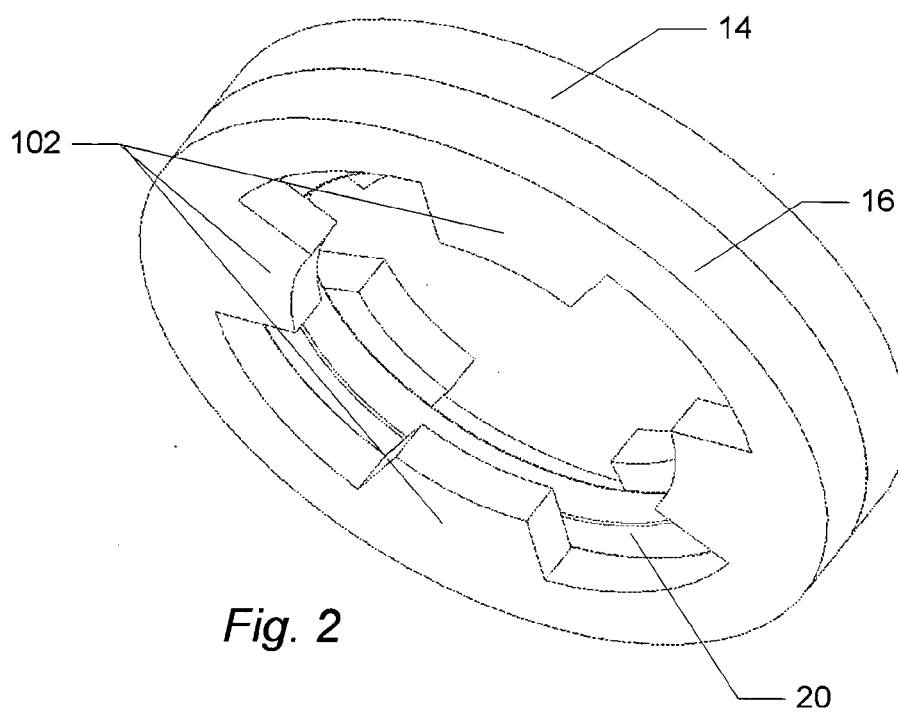


Fig. 2

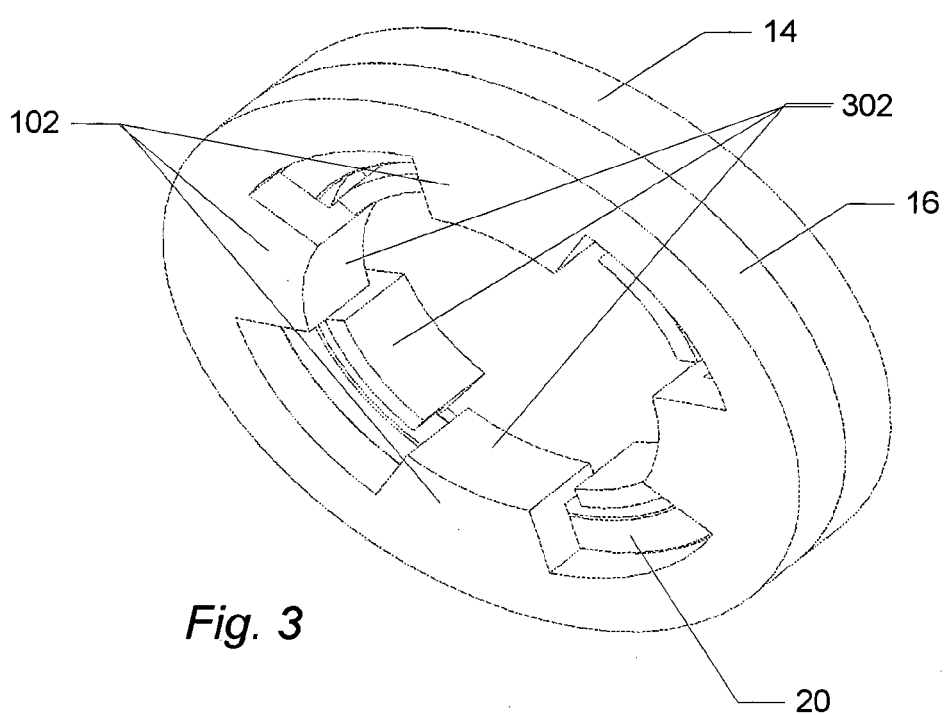


Fig. 3

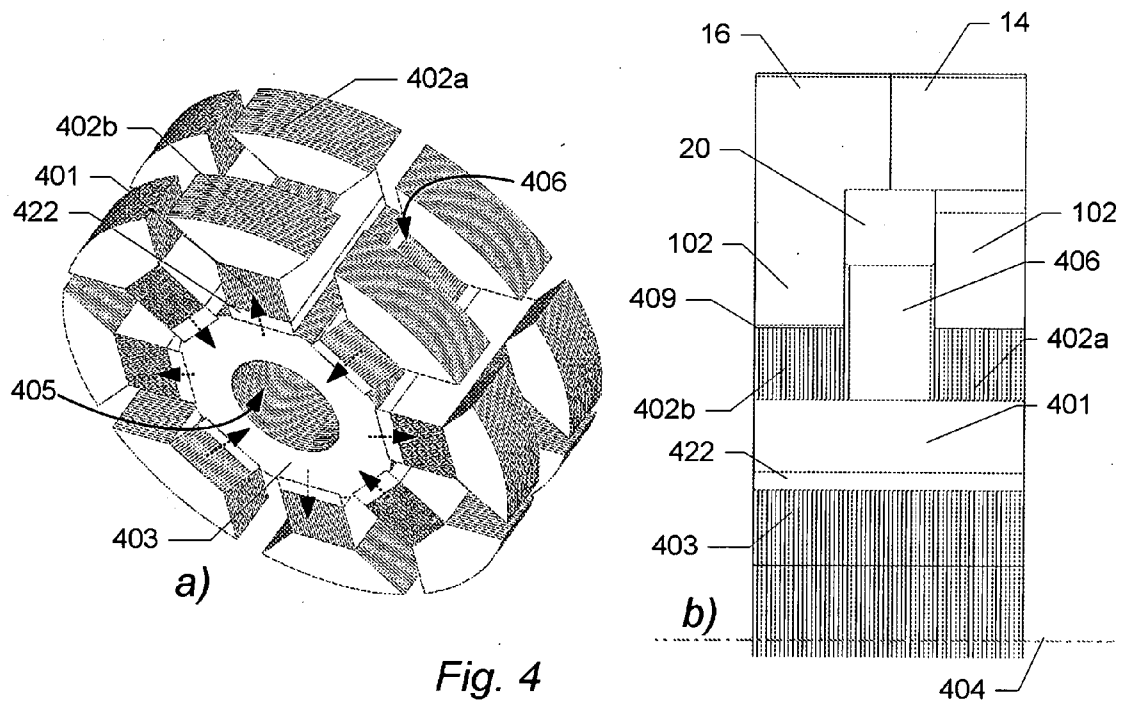


Fig. 4

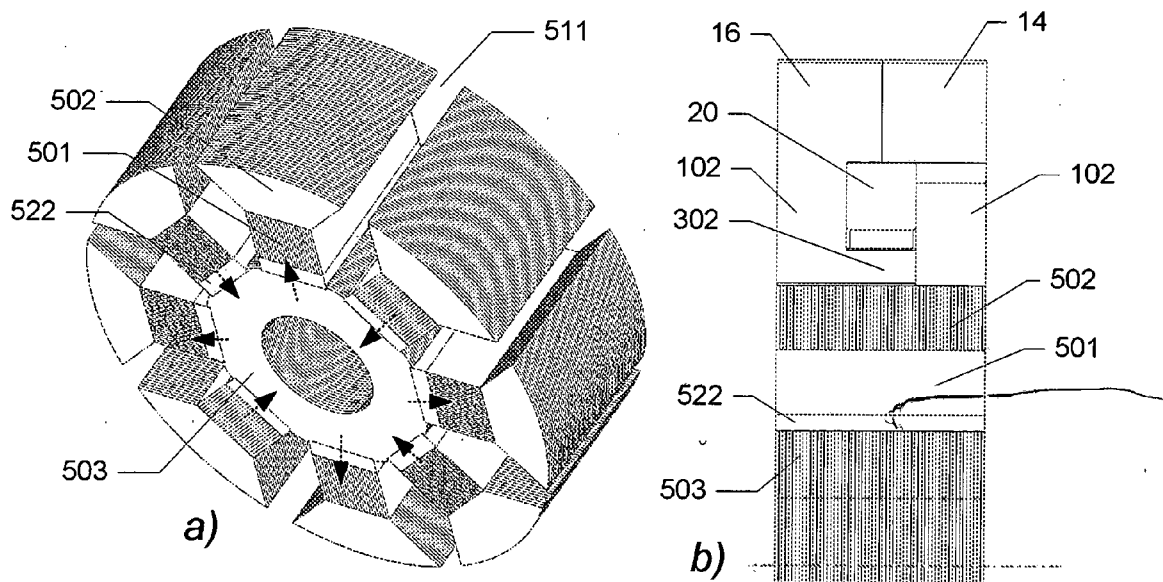


Fig. 5

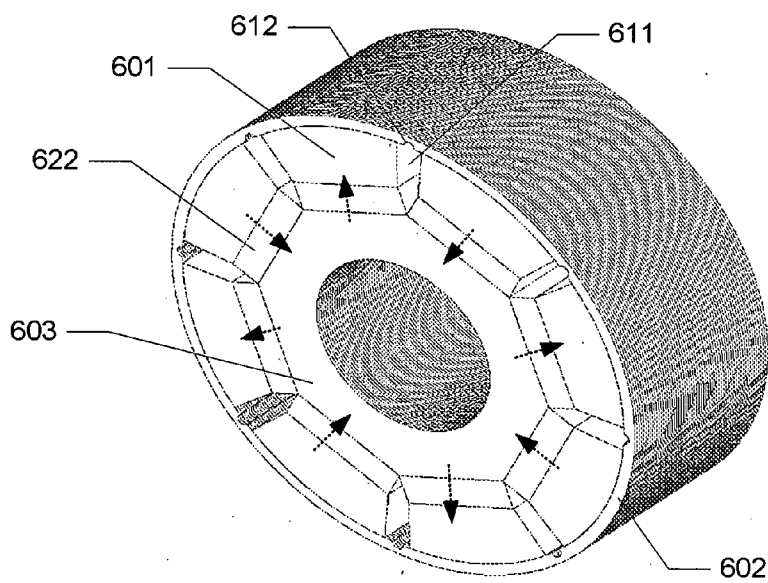


Fig. 6

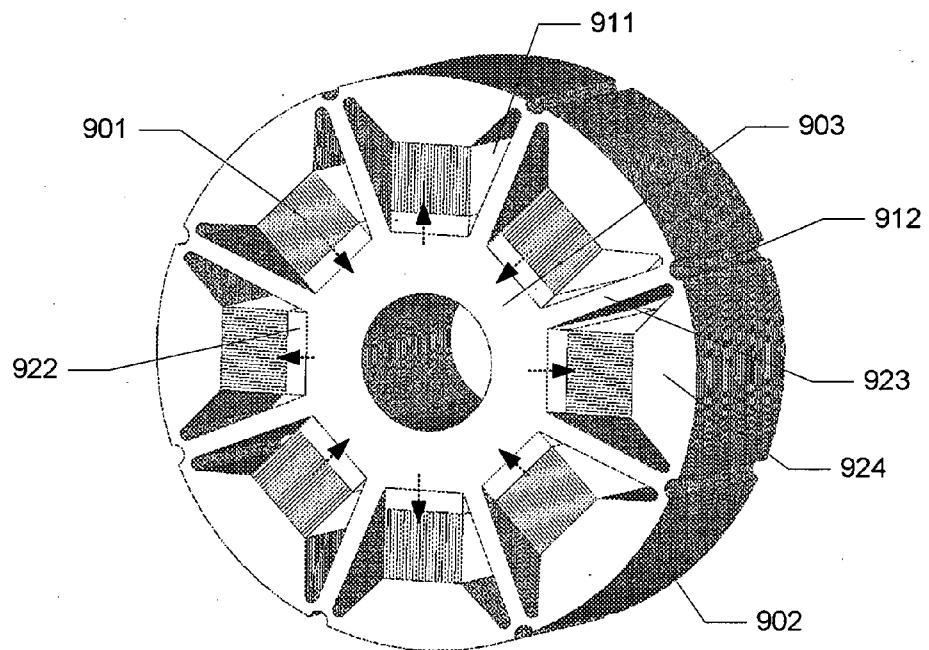


Fig. 9

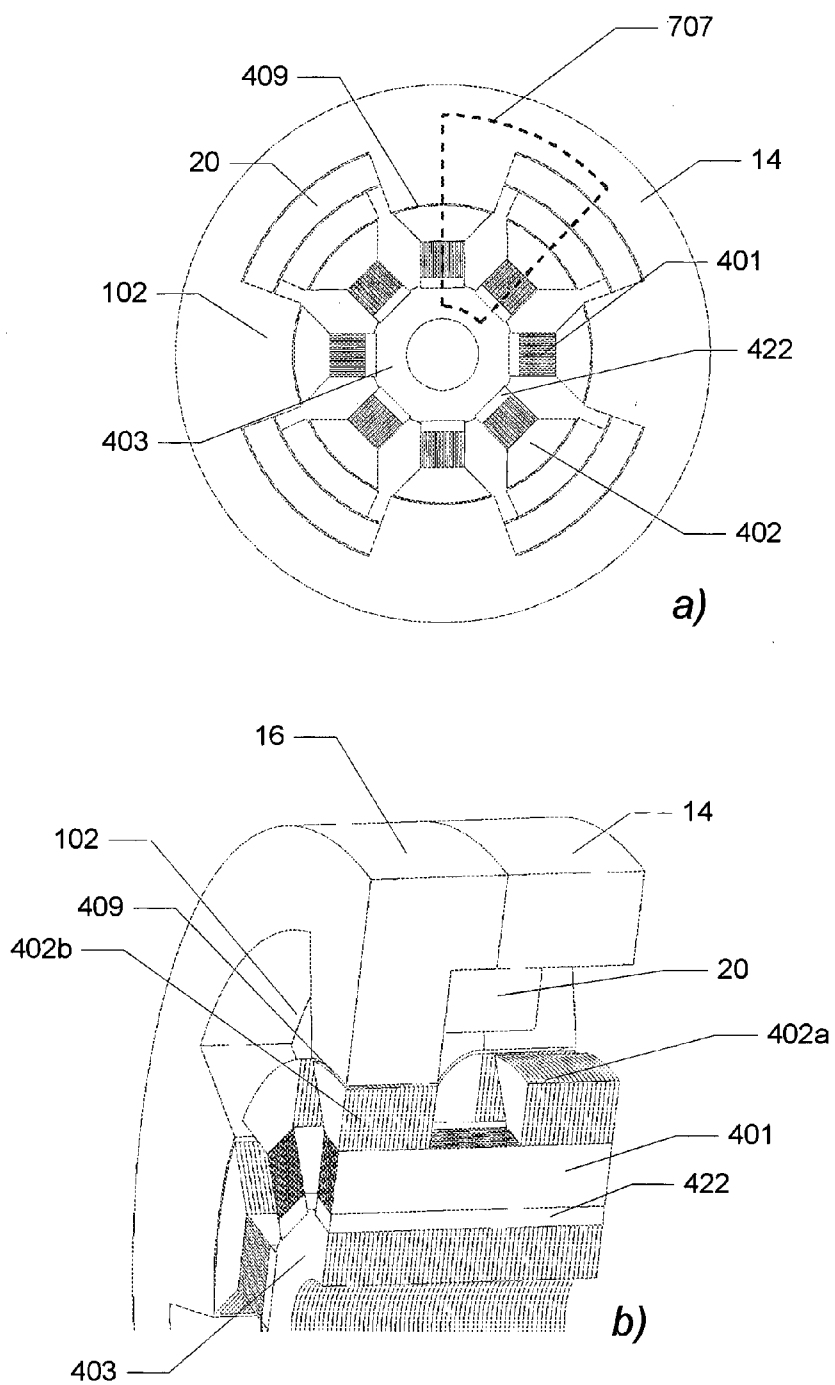


Fig. 7

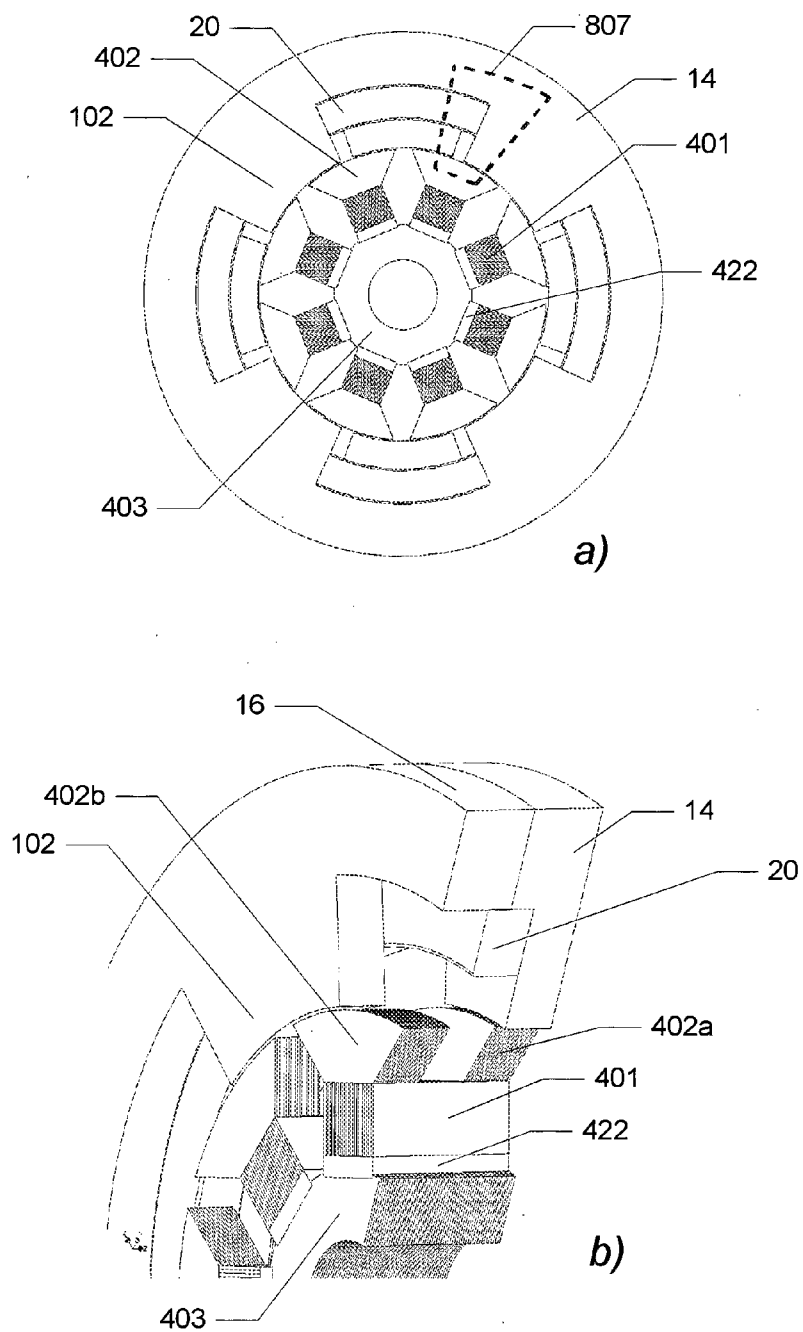


Fig. 8

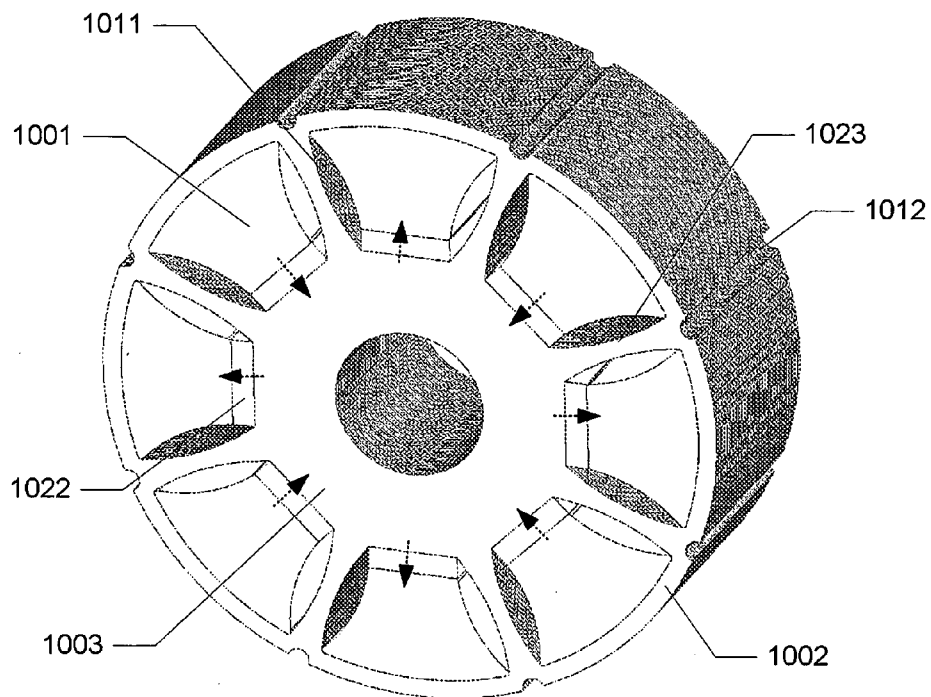


Fig. 10

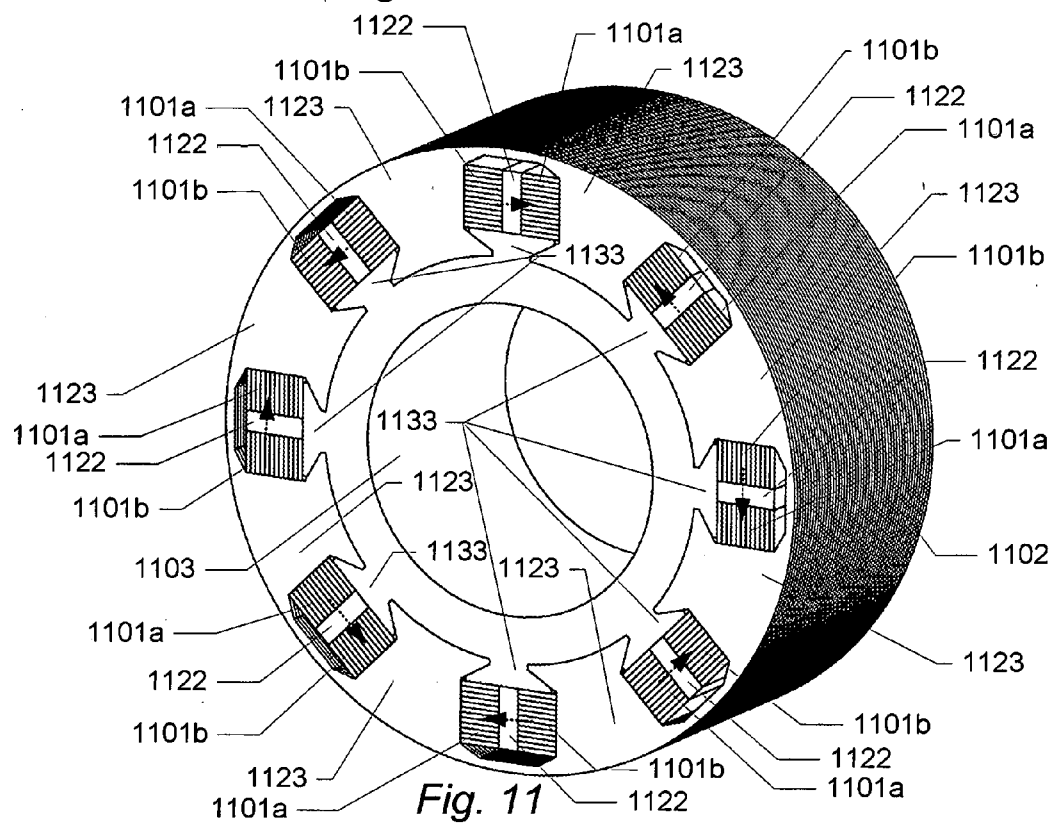


Fig. 11

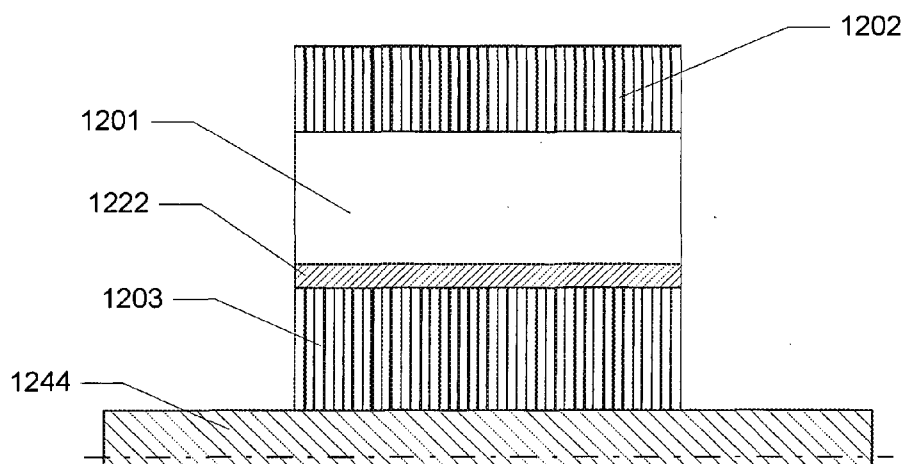


Fig. 12a

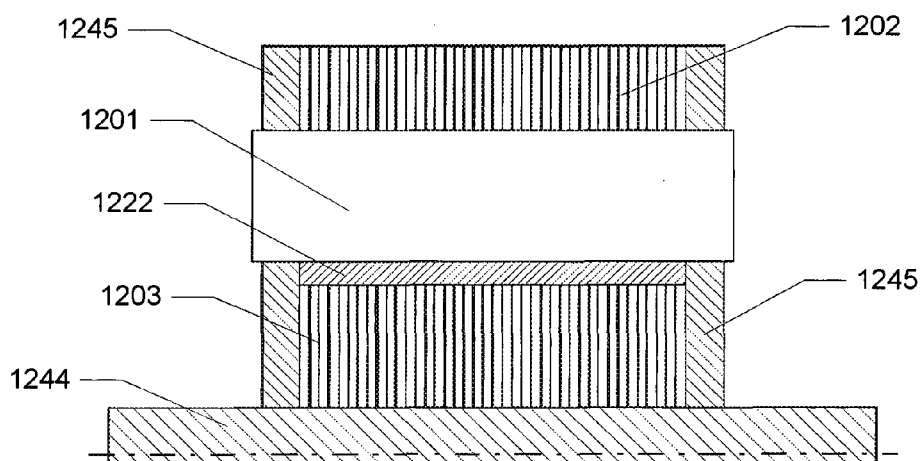


Fig. 12b

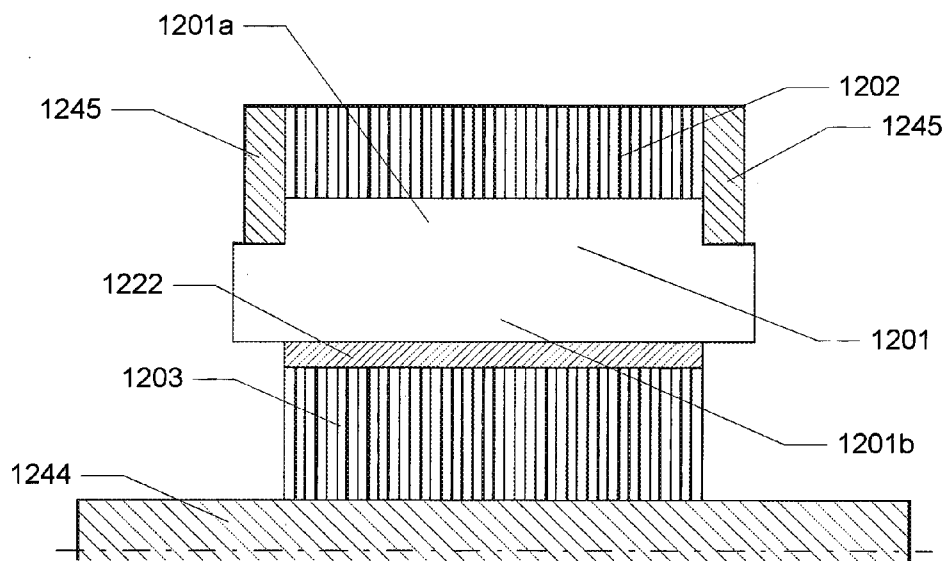


Fig. 12c

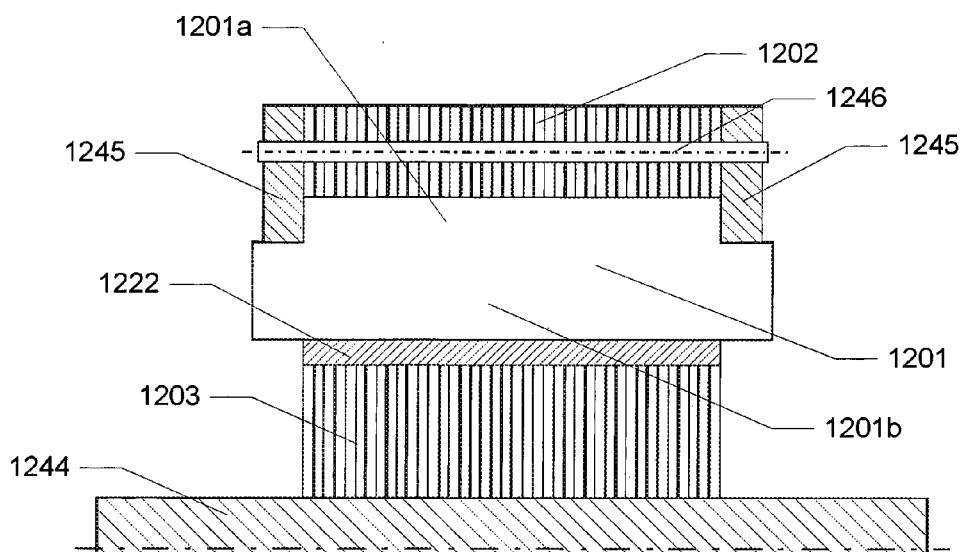


Fig. 12d

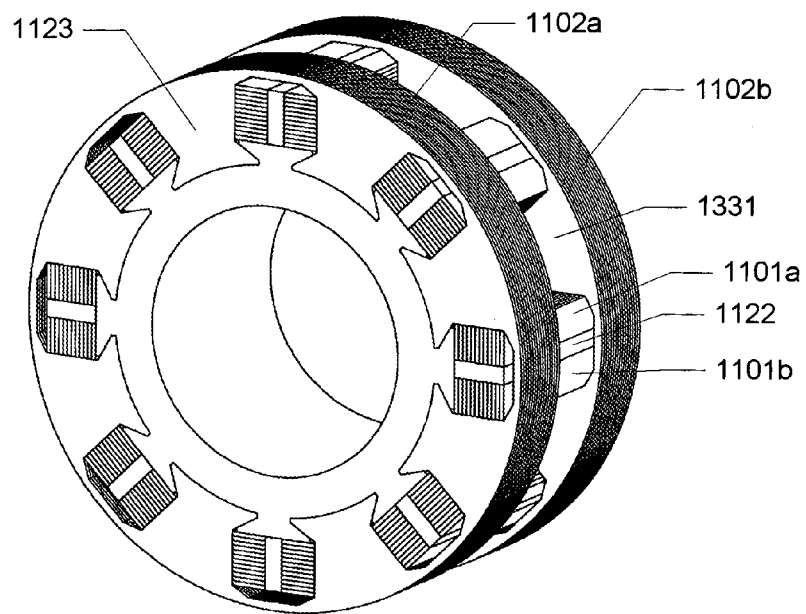


Fig. 13a

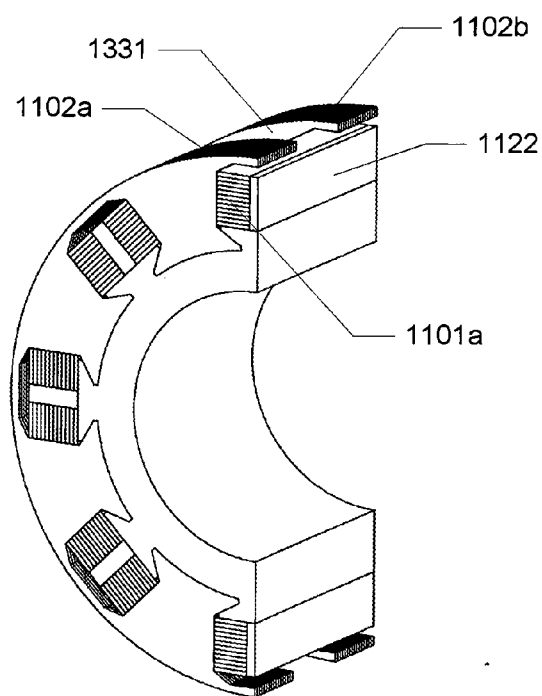


Fig. 13b

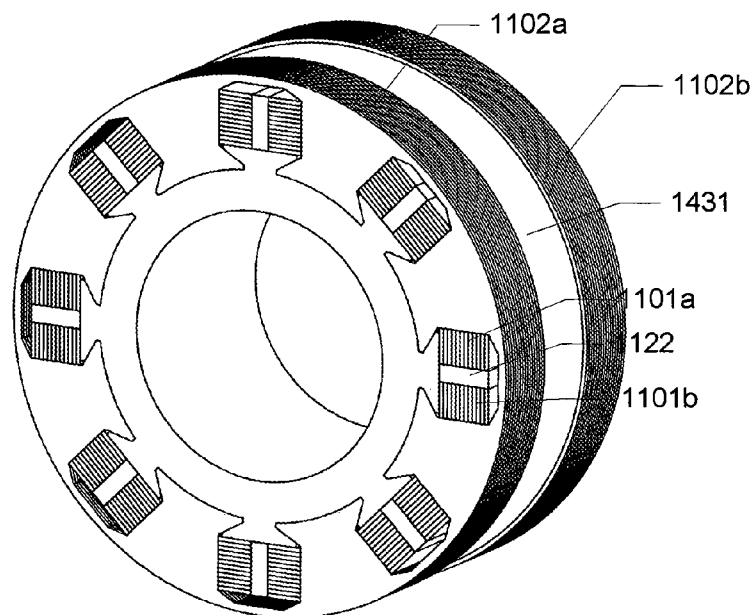


Fig. 14a

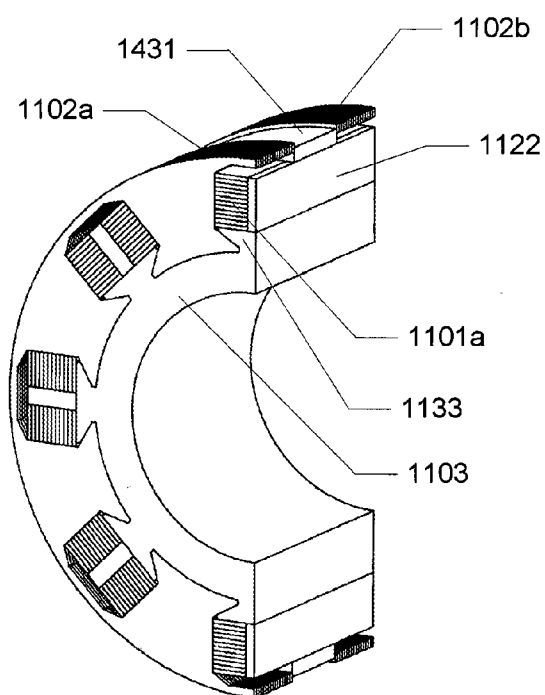


Fig. 14b