

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 129**

51 Int. Cl.:
H02K 1/18 (2006.01)
H02K 1/27 (2006.01)
H02K 16/04 (2006.01)
H02K 7/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09703975 .4**
96 Fecha de presentación: **21.01.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2245721**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.11.2010**

54 Título: **DISPOSITIVO ELECTROMAGNÉTICO CON FUNCIONAMIENTO DE GENERADOR-MOTOR REVERSIBLE.**

30 Prioridad:
21.01.2008 EP 08425027

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.11.2011

73 Titular/es:
AVIO S.p.A.
Strada Del Drosso, 145
10040 Torino

72 Inventor/es:
CIPRIANI, Marco

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 369 129 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

El dispositivo electromagnético con funcionamiento de generador–motor reversible

5 La presente invención se refiere a un dispositivo electromagnético con funcionamiento de generador–motor reversible, es decir, un dispositivo capaz de convertir la energía cinética en energía eléctrica y viceversa.

10 En muchos sectores industriales a menudo surge la necesidad de instalar máquinas eléctricas reversibles en sistemas que comprenden un elemento giratorio, de tal modo que, dependiendo de la condición de funcionamiento del sistema en el que se instala una máquina, es posible o bien sacar partido del movimiento de tal elemento para generar energía eléctrica para el suministro a otros componentes del sistema, o el suministro de energía eléctrica a la máquina para hacer que el elemento giratorio gire.

15 Un requisito general para tales máquinas es la compacidad y la ligereza, en especial para aplicaciones en medios de transporte, tales como vehículos terrestres o aeronaves, así como un coste bajo.

20 Un ejemplo de una máquina de este tipo se conoce a partir del documento el documento US 6.832.486. Este documento da a conocer una máquina eléctrica reversible para aplicaciones aeronáuticas, para su acoplamiento con una turbina de un motor de una aeronave con el fin de generar energía eléctrica para diversos propósitos sacando partido de la rotación de la turbina o, a la inversa, para arrancar el motor. El rotor de la máquina está formado por una extremidad magnetizada radialmente hacia fuera de los álabes de un anillo de álabes en la turbina. Un anillo de estator, en el interior del cual se mueve el rotor, se equipa con bobinas. En una realización, el estator consiste en un anillo continuo, o en un conjunto de elementos en forma de herradura discretos, y define un canal en el interior del cual gira el rotor. En este caso, las bobinas se arrollan en unas expansiones de estator opuestas y se orientan hacia
25 ambos polos de un mismo imán.

30 Una desventaja de esta técnica anterior es que la anchura del canal que se define entre las expansiones orientadas del anillo de estator o de los núcleos en forma de herradura individuales es fija y no puede hacerse más pequeña que un cierto valor mínimo, que depende también del espesor del rotor y de la necesidad de compensar las posibles oscilaciones del rotor. Por lo tanto, con un estator dado y un rotor dado, también el entrehierro entre el estator y los imanes es fijo y no puede hacerse más pequeño que un cierto valor. En consecuencia, es imposible ajustar y optimizar la posición relativa del estator y el rotor con el fin de obtener la máxima eficiencia y la máxima flexibilidad de funcionamiento.

35 El documento US 5.514.923 da a conocer una máquina eléctrica reversible que puede usarse como un circuito de compensación, y que tiene dos discos de rotor equipados con los imanes y dispuestos simétricamente en relación con un estator que porta una pluralidad de bobinas desplazadas en relación con los imanes. En tal caso, se usan dos imanes para inducir un campo eléctrico en una bobina que se ubica entre los mismos. El circuito magnético no es cerrado y esto entraña un alto desperdicio de energía y da como resultado unas fuertes interferencias electromagnéticas.
40

45 El documento BE 867.436 da a conocer un dispositivo eléctrico que tiene un rotor que comprende dos discos de aluminio unidos por un anillo de hierro y que soporta cada uno una pluralidad de imanes distribuidos a intervalos regulares a lo largo de su periferia. El rotor gira entre dos placas de estator, portando cada uno un anillo de culatas magnéticas en forma de U con brazos dirigidos axialmente (máquina de polo que se proyecta), en el que cada culata está orientada hacia un par de imanes en el disco de rotor, y los imanes presentan, hacia las culatas, una secuencia de polos opuestos de forma alterna. La máquina no es reversible y actúa sólo como un motor síncrono. Además, el entrehierro entre el estator y el rotor es fijo, de tal modo que las consideraciones que se hagan en cuanto a este tema en conexión con el documento US 6.832.486 se aplican también a este dispositivo. Además, los materiales que se usan dan lugar a unas pérdidas muy altas a frecuencias altas y a unas corrientes de Foucault muy fuertes y unas pérdidas por histéresis que inducen unas temperaturas muy altas en el disco y puede conducir a la pérdida de imanación de los imanes e incluso a la ignición del disco de aluminio.
50

55 El documento US 6.137.203 da a conocer un motor axial sin escobillas con dos estatores y un rotor montados de forma que pueden girar entre los estatores en respuesta a los campos magnéticos que se generan por los estatores. La máquina es una máquina de fases múltiples del tipo “devanado”, es decir, las bobinas de cada fase se arrollan a lo largo de una pluralidad de expansiones polares adyacentes, sin ninguna bobina de diferente fase entre las mismas. Los estatores pueden ajustarse axialmente durante el funcionamiento para hacer que varíe el entrehierro del motor con el fin de permitir que el motor produzca un par motor alto a baja velocidad, mientras que el entrehierro es pequeño, y para continuar con la producción del par motor, cuando el entrehierro es más grande, una alta velocidad. El ajuste del estator tiene lugar sólo en la dirección axial y no permite contender con las deformaciones que surgen debido a las altas temperaturas que se alcanzan durante el funcionamiento del dispositivo, en especial en las aplicaciones preferidas con turbinas que funcionan mediante fluido, ni con un posible sobrecalentamiento de las bobinas y el estator.
60

65 El documento US 4.710.667 da a conocer una máquina dinamoeléctrica del tipo devanado, en la que la separación

entre el rotor y un estator puede ajustarse sólo axialmente y sólo en la fase de ensamblaje. El rotor incluye imanes de ferrita dura, y el estator incluye núcleos de ferrita blanda para las bobinas.

5 La totalidad de documentos de la técnica anterior que se discuten anteriormente dan a conocer además, estructuras construidas de manera rígida, cuyo diseño no puede modificarse fácilmente con el fin de adaptarse a aplicaciones con unos requisitos diferentes y/o de permitir un ensamblaje y un mantenimiento más fácil y más efectivo de los dispositivos.

10 El documento WO 2004 073 143 da a conocer un motor eléctrico de flujo axial que incluye un rotor que puede girar alrededor de un eje de rotación, y un estator separado del rotor a lo largo del eje de rotación para definir una separación. El rotor incluye imanes permanentes y el estator incluye imanes electromagnéticos fijados de forma segura a la superficie periférica exterior del estator, de tal forma que durante el uso, el flujo magnético a través de la separación se orienta esencialmente a lo largo del eje de rotación.

15 Es un objeto de la invención proporcionar un dispositivo reversible del tipo polo que se proyecta, que ponga remedio a las desventajas de la técnica anterior y que pueda emplearse en una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo, en vehículos terrestres, barcos y aeronaves, y preferiblemente en aplicaciones en las que el dispositivo está integrado en una turbina o generalmente en el impulsor de un aparato que se acciona mediante el movimiento de un fluido.

20 Para lograr este objeto, se proporciona un dispositivo que tiene un estator y un rotor que gira delante del estator. El rotor porta una pluralidad de imanes distribuidos a intervalos regulares y con unas orientaciones alternas en un anillo patrón en el rotor. El estator comprende al menos un conjunto de culatas magnéticas teniendo cada una un par de brazos que se proyectan que se extiende hacia el rotor y que soporta una bobina para la conexión eléctrica con un dispositivo de utilización o con una unidad de potencia, y una culata magnética en el o en cada conjunto es parte, junto con un par de imanes opuestos a los brazos de la culata en un instante dado y el entrehierro que separa la culata respecto de los imanes, de un mismo circuito magnético cerrado. Las culatas magnéticas en el o en cada conjunto se montan de forma independiente en unos soportes ajustables axial y radialmente para un ajuste estático y dinámico de las posiciones de las culatas en relación con los imanes.

30 De forma ventajosa, ajuste puede incluir también un movimiento de rotación alrededor de al menos un eje y preferiblemente las culatas pueden ajustarse a través de un movimiento de traslación a lo largo de tres ejes ortogonales y un movimiento de rotación alrededor de tres ejes ortogonales.

35 Gracias al montaje independiente, cada culata puede considerarse como una célula de estator que puede duplicarse un número deseado de veces y con cualquier posición deseada relativa con las otras células. Por lo tanto, la invención permite una extremadamente alta flexibilidad. Otras ventajas son que:

- 40 - el ensamblaje del dispositivo es más fácil;
- la posición relativa de las culatas y los imanes puede optimizarse al ensamblar el dispositivo, garantizando de ese modo la máxima eficiencia del dispositivo;
- durante el funcionamiento, las oscilaciones, vibraciones y deformaciones del rotor pueden compensarse fácilmente;
- 45 - en el caso de mal funcionamiento o cortocircuitos en una célula, es posible excluir del funcionamiento sólo esa célula, mientras que el resto del dispositivo continúa con el funcionamiento;
- en el caso de una máquina modular que tiene ambos módulos de generador y de motor, es posible ajustar de forma independiente el rendimiento de los módulos de generador y de motor: por ejemplo, en el inicio, la distancia de las culatas de los módulos de generador pueden aumentarse para deshabilitar o ajustar temporalmente a un valor limitado la función de generador o incluso para dejar electrónicamente los circuitos de utilización abiertos con el fin de facilitar el arranque, mientras que las culatas de los módulos de motor pueden traerse más cerca de los imanes con el fin de aumentar la aceleración.

55 Un único conjunto de culatas puede proporcionarse, y entonces los imanes forman la secuencia de polos alternos en una superficie del rotor. El rotor puede hacerse de un material ferromagnético, caso en el que los circuitos magnéticos comprenden un par de imanes y una culata y se cierran a través del entrehierro y el rotor. Si, en las áreas no ocupadas por los imanes, el rotor se hace de un material no ferromagnético, los imanes orientados hacia una misma culata se conectarán mediante unos elementos ferromagnéticos, y el circuito magnético se cierra a través del entrehierro y dicho ferromagnético elemento.

60 En la alternativa, cuando el rotor, en las áreas no ocupadas por los imanes, se hace de un material no ferromagnético, el estator puede incluir dos conjuntos de culatas magnéticas dispuestos simétricamente en relación con el rotor. En tal caso, un par de imanes consecutivos forma un circuito magnético cerrado con una culata magnética en el primer conjunto y una culata magnética en el segundo conjunto (además de, por supuesto, los entrehierros respectivos). Las culatas en cada conjunto se soportan de forma independiente de las culatas en el otro conjunto.

65

El o cada conjunto de culatas puede orientarse hacia la totalidad del anillo de imanes, o éste puede orientarse hacia sólo un arco o arcos discretos de tal anillo.

5 Cuando las culatas cara la totalidad del anillo de imanes, el rotor puede portar un número de imanes dos veces el número de culatas (es decir, un número de imanes igual al número de brazos que se proyectan o de expansiones polares), o éste puede portar un número par de imanes diferente del número de expansiones polares. En el último caso, tiene lugar de forma periódica una relación de fase geométrica dada entre un brazo y un imán opuesto. Estas configuraciones son adecuadas para la construcción de máquinas de fases múltiples. En tales configuraciones, unas bobinas para la captación o el suministro de potencia eléctrica arrolladas sobre brazos que tienen la misma relación de fase geométrica con un imán opuesto pueden conectarse entre sí en el interior del dispositivo y tienen una conexión común con la unidad de potencia o con el dispositivo de utilización. Es también posible conectar entre sí cada segunda bobina de entre las bobinas arrolladas sobre brazos que tienen la misma relación de fase geométrica con un imán opuesto, y conectar los dos grupos de bobinas resultantes a la unidad de potencia o al dispositivo de utilización con fases eléctricas desviadas en 180°.

15 Pueden encontrarse varias aplicaciones al dispositivo, en especial en asociación con un impulsor de un aparato que se acciona mediante el movimiento de un fluido, en particular en generadores eólicos o en hélices o motores de turbina aeronáuticos o navales: por ejemplo, en aplicaciones aeronáuticas o navales éste puede usarse por ejemplo, a modo de generador integrado en la turbina o como un motor de arranque o de realimentación para la turbina, o un motor asociado con hélices navales o aeronáuticas. Otras aplicaciones pueden ser en bombas para tuberías de gas.

20 De acuerdo con otro aspecto, la invención también se ocupa del impulsor de un aparato que se acciona mediante el movimiento de un fluido, por ejemplo, un generador eólico, un motor de turbina para aeronaves o barcos, un tornillo de hélices navales y aeronáuticas, una bomba para tuberías de gas y similares, que tengan integrados en los mismos un dispositivo de acuerdo con la invención.

El dispositivo de acuerdo con la invención se describirá a continuación con un mayor detalle con referencia a los dibujos que la acompañan, dados a modo de ejemplos no limitantes, en los que:

- 30 – la figura 1 es una vista en perspectiva de una primera realización del dispositivo de acuerdo con la invención, con un montaje axial;
- la figura 2 es una vista en perspectiva del rotor del dispositivo que se muestra en la figura 1, con un par de culatas y las bobinas asociadas;
- la figura 3 es una representación esquemática de un circuito magnético;
- 35 – la figura 4 es una representación esquemática de la relación espacial entre los imanes y las culatas durante la rotación del rotor;
- las figuras 5 y 6 son vistas similares a las figuras 2 y 3, en relación con una variante de la realización del montaje axial;
- la figura 7 es una vista esquemática de una variante de la realización de las figuras 1 a 3, estando las culatas ubicadas delante sólo de sectores discretos del anillo de imán;
- 40 – las figuras 8 a 12 son vistas esquemáticas de un número de realizaciones con montaje radial de los imanes y las culatas;
- las figuras 13 a 15 son vistas esquemáticas que muestran un número de patrones de imán y de culata que se usan en máquinas de fases múltiples;
- 45 – las figuras 16 y 16b son una sección axial ampliada de un brazo de culata y de una culata, respectivamente, tal como se usan en las máquinas de fases múltiples de las figuras 13 a 15;
- las figuras 17(a) a 17(d) son vistas diferentes de un imán con una disminución doble en la sección transversal;
- las figuras 18 y 19 son vistas en planta de una parte de una máquina radial con rotor externo e interno, respectivamente, que muestran unos posibles montajes de los imanes;
- 50 – las figuras 20 a 22 son vistas diferentes de una culata que se asocian con unos medios para ajustar su posición;
- la figura 23 muestra una culata que se realiza en una capa de resina;
- la figura 24 muestra una culata junto con las indicaciones de los ajustes de traslación y de rotación;
- 55 – la figura 25 es un diagrama de la permeabilidad magnética de la ferrita;
- la figura 26 muestra la aplicación de la invención a una hélice de un barco o de una aeronave;
- la figura 27 es un diagrama de principio de una célula de estator; y
- la figura 28 es un diagrama de principio que muestran el uso del dispositivo como un circuito electromagnético de compensación.

60 Haciendo referencia a las figuras 1 a 3, se muestra en las mismas una primera realización del dispositivo de acuerdo con la invención, que se indica en general por el número de referencia 10, que tienen como objetivo la construcción de una máquina axial.

65 El dispositivo 10 comprende principalmente dos estructuras diferenciadas.

La primera estructura es un disco o un anillo 12 (con fines de concisión, se hará referencia a continuación en el presente documento a un disco), que forma el rotor del dispositivo 10 y que se monta en un árbol 13. Las superficies principales del disco 12 portan un anillo de imanes permanentes idénticos 14 distribuidos de manera regular a lo largo de su circunferencia, cerca del borde exterior del disco. Los imanes 14 se disponen con el fin de formar, en cada superficie del disco 12, una sucesión de polos opuestos de forma alterna. En la realización que se muestra en las figuras 1 a 3, el disco 12, en las áreas no ocupadas por los imanes 14, se hace de un material no ferromagnético.

La parte central del disco 12 está formada con una pluralidad de álabes 15 que tienen una función de propulsión y que transportan aire de refrigeración hacia los imanes 14 así como hacia las bobinas, que se discuten a continuación, para la captación/el suministro de la potencia eléctrica que se genera mediante el dispositivo o que tienen a éste como objetivo.

Los imanes 14 pueden tener sección transversal circular, tal como se muestra en la figura 2, o una sección transversal curvilínea diferente, o incluso una sección transversal poligonal, o bien convexa (en particular cuadrada o rectangular) o cóncava.

De forma ventajosa, los imanes se hacen de un material con una intensidad de campo alta (por ejemplo, de alrededor de 1,5 Tesla con la tecnología de hoy en día). La elección del material dependerá del tipo de aplicación y por lo tanto, de las condiciones de funcionamiento, en particular de la temperatura del entorno de funcionamiento. Los materiales que se usan comúnmente en tales máquinas son NdFeB, que permite el funcionamiento a unas temperaturas de hasta 150 °C, o Sm-Co (o generalmente tierra rara-cobalto), que permite el funcionamiento a unas temperaturas de hasta 350 °C, o AlNiCo, que permite el funcionamiento a unas temperaturas de hasta 500 °C. Dependiendo de los materiales, los imanes 14 pueden consistir en unas áreas magnetizadas del disco 12, o pueden ser cuerpos magnéticos que se insertan en unos asientos que se forman en el disco.

La segunda estructura consiste en dos conjuntos de culatas magnéticas 16, 18 que se disponen en un anillo respectivo alrededor del disco 12, de forma simétrica con respecto al mismo, y que forman el estator del dispositivo. En el ejemplo ilustrado, las culatas magnéticas 16, 18 se distribuyen de manera regular alrededor del disco 12, delante de los imanes 14. Las culatas tienen sustancialmente una forma de C o U, o generalmente una forma cóncava, abierta hacia el disco 12, con dos brazos o expansiones polares sustancialmente paralelos que se indican por 17a, 17b para las culatas 16 y 19a, 19b para las culatas 18 (véase la figura 3). Los brazos 17a, 17b y 19a, 19b portan las bobinas 20a, 20b y 22a, 22b, respectivamente, de un material eléctricamente conductor (por ejemplo, cobre o aluminio, prefiriéndose el último en aplicaciones aeronáuticas debido a su peso específico más bajo), con unas conexiones individuales respectivas o bien para dispositivos de utilización de la potencia eléctrica generada o para dispositivos de suministro de potencia (más particularmente, un generador de pulsos o una unidad de potencia sin escobillas), dependiendo de las condiciones de uso del dispositivo. De forma ventajosa, las bobinas 20, 22 pueden hacerse de una lámina delgada arrollada sobre el brazo respectivo, para reducir las pérdidas por histéresis, las corrientes de Foucault sobre la superficie expuesta en horizontal y el efecto pelicular. Por supuesto, bobinas opuestas se conectan con polaridades opuestas.

Como los imanes 14, los brazos 17a, b, 19a, b de las culatas 16, 18 pueden tener una sección transversal circular o una sección transversal curvilínea diferente o incluso una sección transversal poligonal, o bien convexa (en particular cuadrada o rectangular) o cóncava. Unas formas no regulares de los imanes y/o los brazos de la culata y/o unas formas en sección transversal diferentes para los imanes y las culatas pueden también ayudar a reducir el rizado que, tal como se conoce, se ve favorecido por el contrario por estructuras muy simétricas. Con independencia de las formas en sección transversal de los brazos y los imanes, es importante que las áreas de los mismos tengan unos tamaños que sean similares o sustancialmente los mismos. La similitud o igualdad sustancial de los tamaños de las áreas de los imanes y los brazos es necesaria para garantizar la uniformidad de la densidad de flujo que circula en las culatas 16, 18 y en los imanes 14.

Usando unos imanes y brazos con secciones transversales circulares, se obtiene un comportamiento sinusoidal del solapamiento de las superficies orientadas de un imán y de un brazo (véase la figura 4) mientras que el rotor está girando, y esto, en el caso de uso del dispositivo a modo de generador, dará como resultado una fuerza electromotriz (fem) sinusoidal casi pura. Consideraciones de disponibilidad comercial de los componentes y de la reducción del rizado pueden, no obstante, llevar al uso de, por ejemplo, imanes con una sección transversal circular y culatas que tienen brazos con una sección transversal cuadrada, el lado de las cuales es sustancialmente igual al diámetro del imán. En este caso la fem que se genera será todavía casi sinusoidal, con algunos armónicos de orden superior que, no obstante, no dan lugar sustancialmente a pérdidas, teniendo en cuenta el gran ancho de banda de los materiales que pueden utilizarse para la construcción de las culatas. Obsérvese que, teniendo en cuenta los tamaños transversales que pueden suponerse para los imanes y los brazos (por ejemplo, de unos pocos centímetros), el requisito de similitud de las áreas de imán y de brazo aún se cumple.

Tomando en consideración, con fines de concisión de la descripción, los imanes y brazos con la misma sección transversal circular, e indicando mediante D su diámetro, con el fin de garantizar la simetría de la forma de onda producida es necesario que los brazos de cada culata 16, 18 estén separados entre sí por una distancia D, de tal modo que la longitud de cada culata es de 3D. En correspondencia con las culatas 16, 18, el rotor 12 tendrá por lo

tanto una circunferencia cuya longitud es de $4DN$, en la que N es el número de culatas en un anillo. Por lo tanto, es posible construir rotores que permitan el montaje del número deseado de culatas o, a la inversa, el número de culatas se verá impuesto por el tamaño del rotor. Además, para un diámetro de rotor dado, es también posible hacer que varíe el número de culatas haciendo que varíe el diámetro de la circunferencia que se define por las culatas y los imanes (es decir, en la práctica, haciendo que varíe la distancia de los imanes a partir del borde del rotor 12).

El número M de imanes 14 se relaciona con el número N de las culatas y depende del tipo de dispositivo que ha de construirse. Para una máquina síncrona, es de aplicación la relación $M = 2N$, de tal modo que la distancia entre imanes subsiguientes 14 es igual a su diámetro D y, en una configuración estática del dispositivo 10, un par de imanes subsiguientes 14 puede estar ubicado exactamente delante de ambos brazos de una culata 16 o 18. Por el contrario, en el caso de una máquina asíncrona, es de aplicación la relación $M \neq 2N$, siendo M un número par, y la distancia entre imanes subsiguientes 14 es más pequeña o más grande que D , dependiendo de si $M > 2N$ o $M < 2N$.

Los brazos de las culatas 16, 18 terminan con unas superficies planas paralelas a las superficies del rotor 12 y a los imanes 14. Cada par de culatas 16, 18 forma un circuito magnético con un par de imanes orientados 14, el circuito que se cierra a través de los entrehierros que separan las culatas de los imanes. Se hará referencia a continuación en el presente documento a un par de culatas 16, 18 con las bobinas respectivas 20, 22 como "pinzas magnéticas".

Tal como se muestra de la mejor forma en el diagrama de la figura 3, los extremos de los brazos 17a, b, 19a, b de las culatas 16, 18 están ligeramente separados respecto de los polos orientados del par de imanes respectivos 14, formando de ese modo unos entrehierros 24a, 24b y 26a, 26b, respectivamente, que tienen como objetivo permitir la rotación de disco en un lado, evitando el contacto entre los imanes y las culatas, y en el otro lado la desaturación del circuito magnético. Debido a que el rotor 12 y el estator 16, 18 tienen superficies planas, la mecanización mecánica permite obtener unos entrehierros muy pequeños y por lo tanto, una alta eficiencia. Obsérvese que, con fines de claridad, la separación entre los brazos de la culata se ha exagerado en el dibujo.

Volviendo a la figura 1, una cubierta externa 28, hecha con el fin de permitir el pasaje y la rotación del árbol 13, mantiene el rotor y el estator del dispositivo 10 ensamblados. Además, las culatas se montan sobre unos soportes individuales, que no se muestran en el dibujo y que se discuten en más detalle más adelante, que permite un ajuste independiente de las posiciones de las culatas 16, 18 en relación con los imanes 14 a través de un movimiento de traslación a lo largo de los tres ejes ortogonales x , y , z y un movimiento de rotación, que se indica mediante las flechas Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 , alrededor de los mismos ejes ortogonales (véase la figura 24).

Esto permite un montaje sencillo de las culatas y una optimización de sus posiciones cuando ensamble el dispositivo, así como una maximización de la eficiencia del dispositivo.

La posibilidad de un ajuste independiente de las posiciones axiales de las culatas permite no sólo una minimización de las anchuras de los entrehierros 24, 26 con el fin de maximizar la eficiencia, sino también el cambio de tales entrehierros durante el funcionamiento, para adaptar la acción de las pinzas magnéticas a los requisitos de las diferentes fases de funcionamiento, tal como será evidente a partir de la descripción de algunas aplicaciones de la invención. Además, en el caso de un dispositivo que tiene ambos módulos de generador y de motor, durante el arranque, la función de generador puede desactivarse o ajustarse temporalmente a un valor limitado con el fin de facilitar el arranque, mientras que los módulos de motor pueden traerse más cerca con el fin de aumentar la aceleración. Además, puede sacarse partido a un aumento del entrehierro como una característica de seguridad en el caso de sobrecalentamiento: tal aumento en el entrehierro da lugar a un aumento de la reluctancia del circuito, de tal modo que se reduce el voltaje en cascada en las bobinas, y por lo tanto, la temperatura. En general, es posible excluir una o más culatas que no funcionen de forma adecuada, mientras que el resto del dispositivo continúa con el funcionamiento.

La posibilidad de un ajuste en un plano perpendicular al eje de rotación también es una característica de seguridad que puede usarse como alternativa al aumento del entrehierro en el caso de sobrecalentamiento: de hecho, también la pérdida de alineamiento de las culatas y de los imanes da lugar al aumento de la reluctancia del circuito que conduce a la reducción del voltaje en cascada y por lo tanto, de la temperatura en los conductores.

Además, en el caso de máquinas que tienen como objetivo la generación de una potencia casi constante con importantes variaciones en el número de revoluciones, puede sacarse partido a la capacidad de ajustar radial y axialmente las posiciones de las culatas para ajustar el valor de la potencia en cascada.

De forma ventajosa, tal como se discutirá más adelante, los soportes de estator incluyen unos dispositivos de rodadura, tales como rodillos o bolas, dispuestos para rodar sobre el perímetro exterior del disco 12 para permitir que se mantengan los entrehierros 24, 26 entre las culatas 16, 18 y los imanes 14 constantes y compensar las oscilaciones axiales y radiales del rotor 12 así como la dilatación térmica. Esto es de particular interés en máquinas de gran tamaño, en las que los desplazamientos radiales o axiales, las oscilaciones, la resonancia y las deformaciones mecánicas y térmicas del rotor pueden ser importantes.

Cada culata con sus bobinas, sus soportes y los medios que controlan los desplazamientos del soporte, incluyendo

cualquier sensor de posición y de temperatura necesario, puede considerarse como una célula de estator elemental que se duplica para formar la totalidad del dispositivo, que por lo tanto tiene una estructura modular. Por lo tanto pueden obtenerse fácilmente varias disposiciones diferentes, tal como será evidente a partir del resto de la descripción.

5 El material de las culatas magnéticas 16, 18 puede depender de las aplicaciones del dispositivo.

10 Para las aplicaciones de alta frecuencia, los materiales preferidos son ferritas de alta permeabilidad, de bajo flujo residual y de baja reluctancia magnética (materiales ferrocerámicos). El uso de ferritas es ventajoso por las siguientes razones:

- las ferritas permiten una alta densidad de flujo (de alrededor de 1/2 Tesla);
- las ferritas son materiales que pueden sintetizarse, y que por lo tanto permiten la confección de estructuras y formas adecuadas para maximizar la eficiencia;
- 15 – las ferritas exhiben unas curvas de eficiencia la máxima de las cuales cae dentro de un amplio intervalo de frecuencia, incluso de hasta algún megahercio, y por lo tanto, son perfectamente compatibles con las frecuencias de pasaje de los imanes en las aplicaciones previstas para la invención;
- dada la alta resistividad eléctrica del material que forma las ferritas y el valor bajo de magnetización residual con un ciclo de histéresis estrecho a frecuencias altas, tienen lugar unas pérdidas muy bajas en el material ferrocerámico y unas pérdidas electromagnéticas muy bajas, mediante lo cual se aumenta la eficiencia;
- 20 – las ferritas permiten la conversión de la energía que se obtiene a partir de unos armónicos espurios de la forma de onda, siendo esto especialmente útil para las aplicaciones en las que se requieren diámetros grandes y números altos de revoluciones;
- las ferritas tienen un bajo peso específico (de alrededor de la mitad del que tiene el hierro), siendo esto de importancia en aplicaciones aeronáuticas;
- 25 – las ferritas tienen una capacidad de autoprotección en el caso de sobrecalentamiento, debido a la baja temperatura de Curie T_c , de alrededor de 250 °C. Tal como se conoce, la permeabilidad magnética de las ferritas a una temperatura superior a T_c es sustancialmente 0 (véase la figura 25): por lo tanto, si la temperatura de la culata alcanza T_c , la reluctancia en conjunto del circuito aumenta de forma considerable y toma un valor que se corresponde sustancialmente con el de un circuito en el aire, de tal modo que el voltaje en cascada disminuye a unos valores muy bajos. Puede sacarse partido a esta propiedad como una alternativa al desplazamiento de la culata.
- 30

35 A unas frecuencias de funcionamiento relativamente bajas, de varios hercios a varios kilohercios (por ejemplo, de hasta 3 KHz), las culatas pueden hacerse de láminas de hierro-silicio, por ejemplo, con un espesor de 5 o 10 centésimas de milímetro. Para unas frecuencias desde 1 KHz hasta varias decenas de KHz (por ejemplo, de hasta 20 KHz) puede usarse en su lugar una ferrita de Ni-Zn, tal como N27 producida por EPCOS. Los materiales de Ni-Zn se caracterizan por unas altas temperaturas de funcionamiento, una muy alta resistividad (del orden de 100 kΩ/m) y unas pérdidas por histéresis limitadas. También pueden ser adecuadas las ferritas de Mn-Zn, tales como los materiales Ferroxcube que se mencionan anteriormente, por ejemplo, Mn-Zn 3C90-6, o materiales de Mn-Ni.

40 El dispositivo de acuerdo con la invención puede actuar como un generador inalámbrico y un motor sin escobillas.

45 Con el fin de dar a conocer el principio de funcionamiento del dispositivo 10 a modo de generador, es adecuado evocar el principio de funcionamiento de un transformador. En un transformador, una variación dinámica del voltaje a través del circuito eléctrico del devanado primario da lugar a una variación de flujo en la bobina a través de la que fluye la corriente, variación que se induce sobre la totalidad del circuito magnético cerrado. La variación de flujo en el circuito magnético cerrado origina una fem secundaria, proporcional al número de espiras en cascada, en el devanado secundario.

50 En el caso de la invención, la variación de flujo tiene lugar haciendo que el disco 12 con los imanes 14 gire entre las culatas magnéticas 16, 18. En tal caso, un par de culatas magnéticas orientadas 16, 18 recibe la variación de flujo debida al pasaje alterno de los imanes permanentes 14 con polaridades opuestas entre las mismas culatas, induciendo de ese modo, a través de las bobinas 20, 22, los voltajes de aparición de la fem V1 a V4 (figura 3). En otras palabras, aplicando un par motor giratorio al disco 12, se induce una fem en cada bobina 20a, 20b y 22a, 22b, respectivamente, situando en cascada las variaciones de flujo debidas a la alternancia de las polaridades de los imanes permanentes 14. Si se miran las posiciones relativas de los imanes 14 y de las superficies orientadas de las culatas en un anillo, por ejemplo, las culatas 16, que se muestran en la figura 4, puede verse que durante la rotación del rotor 12 las áreas orientadas se solapan progresivamente, lo que da como resultado un aumento sustancialmente sinusoidal del flujo y por lo tanto, del voltaje inducido.

60 El voltaje $-\Delta\Phi/\Delta t$ que se genera, en la que $\Delta\Phi$ es la variación de flujo magnético e Δt es el tiempo que transcurre entre el pasaje de dos imanes delante de un brazo de culata, depende del tamaño del rotor 12, del número M de los imanes (por lo tanto, del número N de dipolos) y de la velocidad periférica del rotor. Con unos discos de rotor grandes, que permiten un alto M, una alta frecuencia de pasaje de imán, y por lo tanto, un alto voltaje, puede obtenerse incluso con unas velocidades de rotación relativamente bajas.

Más particularmente, en el caso de una máquina síncrona, cada bobina 20, 22 genera una forma de onda en fase con las formas de onda de las otras bobinas y forma un generador independiente. Tal como se conoce, dependiendo de si las bobinas se conectan en serie o en paralelo, puede obtenerse un voltaje de $2N$ veces el de una única bobina pero con la misma corriente o, después de la rectificación, una corriente igual a la suma de corrientes pero con el mismo voltaje, respectivamente. En este segundo caso, puede necesitarse un filtro adecuado.

En el caso de una máquina asíncrona, cada bobina genera una fem que está desviada en fase en $\pm 2\pi/2N$ en relación con la bobina adyacente y, en un periodo de rotación del disco 12, después de la rectificación de la forma de onda, se obtendrán unas medias ondas de $4N$ con un factor de rizado que es $4N$ veces más pequeño que el de una forma de onda de fase única, de tal modo que no se requieren unas operaciones de filtrado y de alisamiento. Obsérvese que, en la máquina asíncrona, el número de imanes y de culatas será ventajosamente tal como para producir una forma de onda sinusoidal o similar (es decir, se evitará la combinación $M = N$).

Con el fin de evaluar el rendimiento del dispositivo, se hace referencia al siguiente ejemplo que trata de una aplicación aeronáutica. Se supone que el anillo de imanes 14 tiene un radio de alrededor de 1 m y el paso entre los imanes es de alrededor de 10 cm (por lo tanto, D es de alrededor de 5 cm). Siendo la circunferencia algo más larga que 6 m, el anillo puede comprender alrededor de sesenta imanes 14. Si el dispositivo se monta en una etapa de compresor en una turbina, la velocidad de rotación es generalmente de alrededor de 12.000 rpm, es decir, de 200 rps. En consecuencia, la frecuencia de pasaje del imán es de alrededor de 12.000 Hz e Δt es de alrededor de 80 Ps. Debido a que cuanto más corto sea el tiempo de transición Δt , más alto será el voltaje inducido, se producirá una energía caracterizada por un alto voltaje con una alta frecuencia y una baja corriente. Esta característica permite unas ventajas adicionales, debido a que unos voltajes altos y unas frecuencias altas permiten el uso de cables de cobre con un tamaño reducido en sección transversal para las bobinas 20, 22 y, además, los materiales ferromagnéticos para el manejo y el acondicionamiento de energía se hacen muy pequeños: esto da como resultado una reducción del peso, que es particularmente importante para muchas aplicaciones, tal como será evidente a continuación en el presente documento.

El dispositivo 10 puede usarse de una forma reversible como un motor sin escobillas aplicando una variación de voltaje con rotación de fase. La inversión de la polaridad resultante induce una fuerza en los imanes permanentes 14, que en consecuencia hacen que el disco 12 gire. En tal caso, el voltaje que se aplica a las bobinas crea un par de flujos con polaridades opuestas, haciendo que el disco se mueva para permitir que los imanes 14 se coloquen en posiciones opuestas a las culatas 16, 18 de forma alineada y con polaridades opuestas. En el caso de un motor síncrono, se va a dar lugar a un aumento de fase progresivo en la totalidad de las bobinas para iniciar el movimiento. En el caso de un motor asíncrono, el control se simplifica gracias a la desviación de fase entre el rotor y el estator que resulta de la construcción, y será suficiente para desequilibrar cualquiera de las bobinas para hacer que la máquina gire.

Como en los motores sin escobillas convencionales, se detectan las posiciones de los imanes 14 en relación con el estator 16, 18. Por lo tanto, tan pronto como el sistema alcanza una condición de estabilidad, el conjunto de circuitos de control inicia una rotación de fase que da lugar a que el rotor se desplace de nuevo para buscar un nuevo punto de estabilidad. Aumentando progresivamente la frecuencia de tales pulsos de control, se da lugar a una aceleración del rotor.

Las principales características, en el caso del funcionamiento como un motor, son:

- un par motor de alta aceleración: de hecho, la fuerza se aplica a la periferia del disco 12, que puede tener un gran radio (brazo de par motor); tal como se ha dicho, un gran radio permite el montaje de un gran número de dipolos magnéticos que cooperan en el funcionamiento del motor, y por lo tanto, da como resultado una fuerza en conjunto alta;
- un número alto de revoluciones, dependiendo de la frecuencia de excitación del dispositivo (véanse, por ejemplo, las consideraciones acerca del rendimiento que se han hecho en conexión con el funcionamiento a modo de generador).

Además, tal como se ha dicho para el generador, debido a que el rotor y el estator son dos superficies paralelas, la mecanización mecánica permite obtener unos entrehierros muy pequeños y en consecuencia una alta eficiencia.

Obsérvese que, gracias a la estructura modular del dispositivo y a la independencia de los diversos circuitos magnéticos, las funciones de generador y de motor pueden estar presentes de forma simultánea en un mismo dispositivo, en particular células alternas pueden actuar a modo de generador o como un motor. Las células de generador pueden por lo tanto usarse como detectores de posición para proporcionar la realimentación para la función de motor. En realidad, una célula de generador suministra un voltaje que es proporcional a la posición de los imanes que pasan por delante de la misma y, conociéndose la posición relativa de las células de generador y de motor, la posición del rotor en relación con el generador y con una célula de motor puede obtenerse inmediatamente. Esto permite un ajuste del pulso para la célula de motor de tal modo que ésta tiene la fase precisa que se requiere para obtener el movimiento en una máquina sin escobillas.

En la alternativa, la realimentación de posición puede proporcionarse también por unos detectores de efecto Hall o por un devanado secundario: no obstante, teniendo en cuenta que los detectores de efecto Hall no funcionan adecuadamente a unas temperaturas superiores a 150 °C, la última solución puede ser preferible.

Las figuras 5 y 6 son representaciones similares a las figuras 2 y 3, en relación con una variante de realización en la que el rotor 12 se hace de un material ferromagnético. Los elementos idénticos en ambos pares de las figuras se indican por los mismos números de referencia. En este caso, el estator comprende un único anillo de culatas 16, con unas bobinas respectivas 20a, 20b, que se ubican opuestas a los imanes 14 que, a su vez, se pegan a la superficie del rotor 12 que está orientado hacia las culatas 16 (véase la figura 6). Un material adecuado para pegar los imanes 14 al rotor 12 es por ejemplo, loctite hisol 9466.

Además, con el fin de hacer el pegado más fácil, el rotor 12 puede equiparse con una guía de aluminio o de resina (que no se muestra), capaz de definir las posiciones de los imanes 14 y que tiene unas funciones de contención, refuerzo y desaturación. En caso de que el pegado no fuera suficiente para soportar los efectos de las fuerzas centrífugas a unas velocidades de rotación altas, pueden tomarse otras medidas para mantener los imanes en posición, tal como se dará a conocer adicionalmente a continuación. En esta realización, los circuitos magnéticos se cierran entre un par de imanes 14 y una culata 16 a través del disco 12 y los entrehierros 24a, 24b. Más particularmente, tal como se muestra en la figura 6, un circuito magnético comprende: el polo N de un primer imán 14; el entrehierro 24a; la culata 16 con las bobinas 20a y 20b; el entrehierro 24b; el polo S de un segundo imán 14; el polo N del segundo imán; el disco 12; el polo S del primer imán. El principio de funcionamiento de esta variante de realización es la misma que la de la realización que se muestra en las figuras 1 a 3, estando la diferencia relacionada sólo con el diferente número de bobinas.

Conectando los imanes orientados hacia una misma culata mediante unas láminas ferromagnéticas delgadas para cerrar el circuito magnético entre los brazos de una culata y un par de imanes, la realización con un único anillo de culata puede también usarse en el caso de un rotor hecho de un material no ferromagnético.

Esta variante de realización aumenta las características de ligereza del dispositivo.

La figura 7 muestra otra variante de realización en la que las culatas 16, 18 no están distribuidas a lo largo de la totalidad de la circunferencia del disco 12, sino sólo a lo largo de uno o más arcos discretos de los mismos, dos en el ejemplo ilustrado. La posibilidad de tener unos conjuntos de culata reducidos es una de las ventajas que consigue la estructura modular de la invención. Cada conjunto puede incluso incluir una única culata. Esta variante de realización es adecuada para las aplicaciones en las que las potencias (para las funciones tanto del generador como del motor) obtenidas mediante un conjunto de células elementales que se extiende por la totalidad de la circunferencia serían excesivas. Por supuesto, incluso a pesar de que se ha mostrado esta variante para un dispositivo del tipo que se muestra en las figuras 1 a 3, con un conjunto de culata en cada lado del rotor 12, puede aplicarse también al caso de un único conjunto de culata que se muestra en las figuras 5 y 6.

Las figuras 8 a 12 se refieren a una realización de la invención con una disposición radial de los imanes y las culatas. Los elementos que ya se han discutido con referencia a las figuras anteriores se indican por los mismos números de referencia, con el añadido de una virgulilla.

En la realización radial, el rotor 12' es un cuerpo cilíndrico que porta unos imanes 14' con unas orientaciones alternas en su superficie lateral. Como en la realización axial, pueden proporcionarse dos conjuntos de culatas 16', 18' (figura 8) o sólo un conjunto 16' o 18' (figuras 9 y 10), dependiendo del material del rotor 12'. Las culatas tienen unos brazos dirigidos radialmente sobre los que se arrollan las bobinas 20', 22'. En la solución con un único conjunto de culata, las culatas pueden estar ubicadas o bien en el exterior o bien en el interior del rotor 12', tal como se muestra en las figuras 9 y 10, respectivamente. Se hará referencia a las disposiciones que se muestran en las figuras 9 y 10 como disposiciones de "rotor interno" y de "rotor externo", respectivamente. En la realización radial, superficies orientadas del rotor y de los brazos de la culata tendrán la misma curvatura en cualquier punto, para garantizar la constancia del entrehierro.

En la disposición de rotor externo y en la disposición con un doble conjunto de culatas, el rotor 12' está formado sobre la superficie de una gran cámara cilíndrica hueca en el interior de la cual se monta la o un conjunto las de culatas. En la disposición de rotor interno, el rotor 12 será todavía un anillo o disco portado por un árbol 13'. También en la realización radial, las culatas 16' y/o 18' pueden distribuirse delante de la totalidad del anillo de imanes o delante de uno o más arcos sólo de tal anillo.

En la variante que se muestra en las figuras 11 y 12, la superficie lateral del rotor 12' puede portar dos filas de imanes adyacentes y paralelas 14'a, 14'b (disposición de imanes gemela), teniendo un imán en una fila una orientación opuesta con respecto al imán adyacente en la otra fila. Los brazos de una culata 16' y/o 18' se orientan hacia un imán 14'a, 14'b en cada anillo. Tal como se muestra en la figura 12, las culatas 16' (sólo una se muestra) pueden disponerse de forma oblicua con respecto a las generatrices del anillo del rotor y las dos filas de imanes se desvían a continuación en relación entre sí de tal modo que también un par de imanes 14'a, 14'b orientados hacia

una misma culata se dispone de forma oblicua con respecto a las generatrices del anillo del rotor. Esta característica también contribuye a reducir el rizado.

Ha de observarse que, en la disposición de imanes gemela, los pares de imanes están siempre en el mismo plano radial que pasa a través de ambos brazos de la culata, tanto en la configuración síncrona como en la asíncrona, y los planos de rotación son siempre comunes tanto a los imanes como a las culatas. En tal caso, el flujo magnético o bien está presente en los brazos de la culata debido a que los imanes están delante de las culatas, o no tiene lugar ninguna circulación de flujo debido a que ningún imán está delante de una culata. Esto permite la importante ventaja de que las pérdidas espurias por efecto Foucault (es decir un flujo está todavía presente en un brazo de una culata y da lugar a una dispersión hacia el rotor a través del otro brazo) se eliminan, debido a que no hay desviación de fase entre los brazos. En la totalidad de las otras disposiciones, por el contrario, hay siempre una pequeña desviación de fase entre un plano que pasa a través del eje transversal del imán y los planos que cruzan radialmente los brazos de la culata, debido a que los brazos se encuentran en planos desviados mutuamente en fase en un cierto ángulo: por lo tanto, está siempre presente una cierta pérdida espuria por efecto Foucault.

La todas las consideraciones acerca de la capacidad de ajuste de la culata que se hacen anteriormente en el presente documento con respecto a las disposiciones axiales se aplican también a las disposiciones radiales, teniendo en cuenta que el entrehierro es ahora una separación radial en lugar de una axial. Por ejemplo, con el fin de ajustar la potencia en cascada, un desplazamiento radial de las culatas permite hacer que varíe el entrehierro y el desplazamiento longitudinal de las culatas en relación con el eje de rotación permite hacer que varíen las áreas a lo largo de las cuales se solapan los imanes y los brazos.

Obsérvese que, incluso a pesar de que la fila de imanes gemela y la disposición oblicua de las culatas en relación con los imanes se ha mostrado sólo para una de las disposiciones radiales, éstas pueden adoptarse también para las otras disposiciones radiales que se dan a conocer en el presente documento así como para las diferentes variantes de la disposición axial.

En las realizaciones descritas hasta ahora, se ha supuesto que las bobinas de una culata son independientes entre sí y con respecto a las bobinas de las otras culatas, y se conectan de forma individual a la unidad de potencia o al dispositivo de utilización. Un número alto de células entrañaría un número alto de conexiones al exterior, a saber al menos dos conexiones para cada bobina, y esto puede ser una desventaja en términos de complejidad del dispositivo. Puede sacarse partido a la estructura modular del dispositivo para reducir el número de conexiones al exterior, mientras que todavía se tienen bobinas independientes en cada brazo. Mirando al aspecto geométrica del dispositivo, en una máquina con N culatas (y por lo tanto $P = 2N$ brazos o expansiones polares) y M imanes, puede observarse en general que una fase geométrica dada entre los polos y los imanes opuestos tiene lugar con una periodicidad de X expansiones polares, con:

$$X = P/\text{gcm}(P, M)$$

en la que la abreviatura "mcd" significa máximo común divisor. Cada bobina en un grupo de X bobinas genera unas fem desviadas en fase con respecto a las otras bobinas en el grupo, y las fases eléctricas de las bobinas se repiten idénticamente en la totalidad de grupos. Las bobinas con la misma fase pueden conectarse entre sí en paralelo o en serie o con una configuración en estrella, en triángulo... en el interior de la máquina, y sus puntos comunes se conectarán al exterior. Por lo tanto, el número de conexiones al exterior se reduce al número de fases diferentes. Por lo tanto, se obtiene una máquina de fases múltiples modular, en la que cada módulo incluye X expansiones polares y $Y = M/\text{mcd}(P, M)$ imanes. Es también posible conectar al exterior las bobinas de módulos alternos con fases invertidas, de tal modo que puede obtenerse una máquina con una fase X o una fase 2X con un par dado de valores M, P. Por supuesto, cuando la disposición modular de fases múltiples se aplica a la realización de imanes gemelos, la ventaja del flujo síncrono en ambos brazos de una célula se mantiene todavía. Conectando en paralelo o en serie módulos con la misma fase es posible aumentar o reducir a voluntad el voltaje, mediante lo cual se obtiene el mismo resultado que consigue el desplazamiento de la culata.

Las figuras 13 a 15 muestran algunas disposiciones a modo de ejemplo con diferentes pares de valores P, M, en los que M es un número par más pequeño que $P-2$. Las figuras se refieren a la realización radial, pero por supuesto las mismas consideraciones se aplican a la realización axial.

En la figura 13, $P = 64$ y $M = 48$, de tal modo que $X = 4$. Esto permite obtener unas máquinas con o bien cuatro o bien ocho fases, dependiendo de si las bobinas en cada segundo grupo de cuatro bobinas tienen las mismas fases o fases invertidas con respecto a las bobinas correspondientes en el grupo adyacente de cuatro bobinas.

En la figura 14, $P = 48$ y $M = 40$, de tal modo que $X = 6$. Esto permite obtener unas máquinas con o bien seis o bien doce fases, dependiendo de si las bobinas en cada segundo grupo de seis bobinas tienen las mismas fases o fases invertidas con respecto a las bobinas correspondientes en el grupo adyacente de seis bobinas.

En la figura 15, $P = 48$ y $M = 32$, de tal modo que $X = 3$. Pueden obtenerse máquinas de tres fases o de seis fases, dependiendo de si las bobinas en cada segundo grupo de tres bobinas tienen las mismas fases o fases invertidas

con respecto a las bobinas correspondientes en el grupo adyacente de tres bobinas.

Pueden conseguirse otras configuraciones asíncronas con M par y más grande que P.

- 5 Este simplificación de las conexiones externas puede aplicarse también en el caso de la máquina síncrona, en la que $M = P$, de tal modo que Pueden obtenerse P bobinas con la misma fase, o P/2 bobinas con una fase y P/2 bobinas con la fase invertida, y una o dos conexiones sólo al exterior es o son necesarias.

10 Las figuras 13 a 15 también muestran una forma de las expansiones polares, que se indican en el presente documento por el número de referencia 7, que es particularmente ventajosa para máquinas de fases múltiples. Se hace referencia también a las vistas ampliadas de las figuras 16(a) y 16(b). La expansión polar 7 tiene un cabezal ampliado 7a orientadas hacia los imanes, un vástago intermedio 7b con un tamaño reducido en sección transversal sobre el que la bobina (que se indica en el presente documento por el número de referencia 21) se arrolla y una base o pie 7c para la fijación de la expansión polar 7 a un soporte (por ejemplo, el elemento de conexión que se da a conocer anteriormente). Esta forma tiene la ventaja de que la sección ferromagnética activa de la máquina se amplía a la vez que se reduce la exposición de las bobinas a los imanes que giran. El vástago 7b se conforma sustancialmente como un paralelepípedo rectangular, que tiene las superficies más grandes perpendiculares a la dirección de rotación del rotor. También el pie 7c de las expansiones polares puede tener un tamaño más grande que el vástago 7b. Las expansiones polares 7 pueden sujetarse de forma individual a un soporte de estator mediante unos medios de sujeción 7d y tal como se muestra en la figura 16(b), una culata, que se indica en el presente documento por el número de referencia 6, comprenderá dos expansiones adyacentes 7 unidas en correspondencia con sus pies 7c. El montaje individual es ventajoso en que hace el devanado de las bobinas más fácil. Además, las superficies laterales de los pies 7c están ligeramente inclinadas, por ejemplo, en unos pocos grados, de tal modo que un cierto ángulo, abierto hacia el rotor, existe entre los ejes de los vástagos 7b en la culata. La inclinación de los ejes de los vástagos 7b en una culata 6 proporciona espacio para el devanado de bobinas de un tamaño relativamente grande.

Una solución adicional para la reducción del número de conexiones externas al usar el dispositivo a modo de generador puede ser rectificar las formas de onda de la totalidad de las bobinas en el interior de la máquina, y conectar en paralelo los polos positivos así como los polos negativos en el interior de la máquina, de tal modo que sólo se requieren dos conductores de salida. No obstante, una solución de este tipo puede hacer el uso de la máquina como un motor imposible o extremadamente difícil, debido a que la totalidad de las bobinas se conectan entre sí. No obstante, puede sacarse partido de la modularidad de fase que se da a conocer con referencia a las figuras 13 a 15 con el fin de dejar alguna de las células no conectadas a la estructura del rectificador y de usar tales células para la función de motor. Por ejemplo, considerando una máquina con 48 expansiones polares, puede verse la siguiente secuencia: tres expansiones polares conectadas a través de los rectificadores y una expansión polar independiente y reversible, mediante lo cual treinta y seis expansiones polares se rectifican directamente y se conectan entre sí, y doce expansiones polares independientes se distribuyen a lo largo de la circunferencia con un paso $X = 4$.

40 Las figuras 17(a) a 17(d) muestran una realización de imán adecuada para soportar la fuerza centrífuga en especial a unas velocidades de rotación altas, tales como las encontradas cuando los imanes se montan en el impulsor de una turbina. El imán es una placa cuadrangular 140 cuyas bases forman los polos N y S del imán y cuya superficie lateral tiene una disminución doble en la sección transversal: más particularmente, dos lados opuestos del imán tienen una sección transversal decreciente por ejemplo, desde la parte superior a la parte inferior, y los otros dos lados tienen la disminución inversa en la sección transversal. En otras palabras, las secciones de acuerdo con dos planos perpendiculares a una de las bases del imán, tal como los planos que pasan a través de las líneas C-C y D-D en la figura 17(b), son dos trapecios invertidos, tal como se muestra en las figuras 17 (c) y (d). Una forma de este tipo permite transferir los esfuerzos de compresión tangenciales o radiales con el fin de sacar partido de la alta resistencia a compresión.

Si fuera necesario, en el caso de imanes adyacentes entre sí, pueden proporcionarse unos elementos de retención (que no se muestran) que tienen una disminución en la sección transversal complementaria a los lados orientados de los imanes entre imanes adyacentes de forma transversal al anillo de imán y, en el caso de la disposición de imanes gemela, también de forma longitudinal entre los imanes en las dos filas.

60 Obsérvese que, en una variante de la realización de las figuras 17(a) a 17(d), sólo un par de caras laterales opuestas pueden estar inclinadas, de tal modo que la placa tiene sustancialmente de cuña. Asimismo, el mismo efecto de una placa en forma de cuña o con una doble disminución de la sección transversal puede obtenerse mediante placas conformadas como frustos de conos o de pirámides.

65 Tal como se muestra en la figura 18 para un dispositivo radial de rotor externo que usa la culata 6 de la figura 16(b), la resistencia a la fuerza centrífuga puede aumentarse mediante el uso de un elemento de retención flexible que funciona de forma tangencial 60 que se ubica entre unos imanes adyacentes 140 y que se dispone para aplicar un esfuerzo de compresión sobre los lados del imán para compensar las variaciones dimensionales debidas a los esfuerzos tangenciales. El elemento 60 puede incluir por ejemplo, una ballesta que tiene una parte central 60a sujeta

al rotor 12' y dos brazos laterales en forma de U 60b que se extienden a partir de la parte central hacia un imán respectivo 140, de tal modo que las patas de la U alejadas de la parte central 60a se apoyan contra los imanes. Claramente, puede proporcionarse o bien dos filas de elementos de retención 60, una para cada fila de imanes, o bien una única fila de elementos 60. La figura 18 muestra además que las culatas adyacentes 6 pueden separarse por una separación 77 que proporciona un grado de libertad con respecto a posibles interferencias mecánicas debido por ejemplo, a la dilatación térmica. El mismo efecto puede obtenerse también mediante el uso de elementos de retención hechos de material elastomérico, por ejemplo, Teflon®.

La figura 19 muestra un detalle de una realización de una máquina de rotor interno usando imanes en forma de cuña 140 con paredes fuertemente inclinadas. Esta solución se pretende para unos números de revoluciones muy altos. Los imanes 140 están alojados en unos asientos 62 que se forman en el borde del rotor y que tienen, por ejemplo, en un plano perpendicular al eje de rotación del rotor 12', una sección transversal sustancialmente trapezoidal, complementaria a la forma en sección transversal correspondiente de los imanes y están enrollados en una lámina no conductora 66. Los otros dos lados de los imanes 140 se enganchan con unas abrazaderas 64 que retienen de forma transversal los imanes.

Obsérvese que las figuras 18 y 19 se refieren a la disposición de imanes gemela y también muestran unas láminas ferromagnéticas delgadas 61 que conectan unos imanes opuestos a una misma culata.

Las figuras 20 a 22 muestran una posible estructura de soporte para una culata 16, que permite el desplazamiento de la célula y la compensación automática de deformaciones o variaciones en la posición o actitud del rotor. Las figuras 20 y 21 son dos vistas de principio en sección muy esquemáticas de acuerdo con dos planos ortogonales, y la figura 22 es una vista en perspectiva en la que, por claridad, se ha omitido alguno de los componentes que se muestran en las vistas en sección.

Tal estructura de soporte comprende un número de elementos de rodadura 50 (cuatro en el ejemplo ilustrado, dos para cada brazo, véase la figura 22), tales como bolas, rodillos, cojinetes de rodillos o de bolas, etc. Esos elementos se disponen para rodar a lo largo de un área periférica procesada de forma adecuada 51 de la superficie del rotor, que actúa como una pista para los elementos de rodadura y sirve para mantener constante el entrehierro. Para este fin, los elementos de rodadura 50 se asocian con unas unidades de ajuste que funcionan de forma mecánica, hidráulica o neumática 52, por ejemplo, los cilindros hidráulicos o neumáticos o elementos de deslizamiento, que, en una fase de calibración del dispositivo, se ajustan de tal modo que, en unas condiciones de funcionamiento normales, los elementos de rodadura 50 están separados entre sí con respecto al rotor 12 y se traen en contacto con el rotor 12 sólo cuando el último se desplaza con respecto a su posición de funcionamiento adecuada o se deforma. El ajuste de los elementos de rodadura 50 es tal que éstos se proyectan en cierta medida con respecto a los brazos, con el fin de dejar un entrehierro deseado cuando están rodando a lo largo del rotor. Los elementos de rodadura 50 y sus unidades de ajuste 52, junto con la culata 16 con la que se asocian, se traen mediante una estructura de cojinete 54, que se asocia con unos resortes de compresión 56, u otros elementos que tienen las mismas funciones, que se calibran para contrarrestar cualquier desplazamiento del rotor que conduzca a una variación de dicho entrehierro deseado.

Para dar solidez a la estructura, la totalidad de la célula que consiste en una culata 16, 18 con sus bobinas 20, 22, su estructura de soporte 54, los medios que dan lugar al ajuste de posición y generalmente al desplazamiento de las culatas descritas anteriormente y los detectores que dan lugar a tales desplazamientos pueden realizarse en una capa de resina, tal como se muestra en 70 en la figura 23, posiblemente encerrarse en una cubierta, que no se muestra en la figura. La resina puede posiblemente cargarse de polvos de materiales que aumentan la conductividad eléctrica y/o térmica, tales como boro, carburo de silicio, aluminio o similares.

La figura 27 muestra una implementación de principio de una célula y sus medios para el ajuste axial. La culata, por ejemplo, la culata 16, se equipa en sus brazos 17 con dos bobinas de potencia 20 y dos bobinas de señal 200, que se rodean por unas bobinas de refrigeración 80. La célula se equipa además con unos detectores de temperatura y de posición 86, 88 con los circuitos de control y de procesamiento de señal relevantes 90. Por ejemplo, los detectores de temperatura 88 pueden comprender una termorresistencia del tipo de control térmico positivo o negativo, o un termopar. Tal como se ha indicado anteriormente, los detectores de posición 88 (término que se pretende que incluya también detectores de fase y detectores de frecuencia de rotación) pueden ser detectores de efecto Hall o bobinas de secundario o incluso bobinas de potencia de primario que se utilizan para detectar fases y amplitudes de las corrientes y los voltajes en las bobinas de los diversos brazos. Obsérvese que incluso a pesar de que los detectores 86, 88 se han mostrado fuera de la culata con fines de una comprensión más fácil, estarán de hecho ubicados en el interior de la célula, por ejemplo, junto con los circuitos de procesamiento y control 90 en la ubicación que se muestra para estos últimos.

Los resortes 56 que contrarrestan los desplazamientos de rotor se montan en el interior de los pistones o cilindros de accionamiento 82, montados de forma deslizante en el interior de los cilindros 92. En condiciones de reposo del dispositivo, los pistones 82 están retraídos por completo en el interior de los cilindros 92 mediante los resortes 84. En condiciones de funcionamiento, los cilindros 92 dan lugar a la extensión de los pistones 82 de tal modo que estos últimos toman su posición de trabajo de servicio. En el caso de ajuste dinámico, un controlador lineal adecuado

controlado por la unidad de control electrónico del dispositivo modula el empuje que se aplica al pistón 82 dependiendo de los requisitos de funcionamiento. Actuando de forma diferente sobre los dos pistones 82, puede obtenerse la inclinación de la célula. Por supuesto, cualquier dispositivo que funcione de forma hidráulica, neumática o mecánica equivalente al ensamblaje de los pistones 82 y los cilindros 92 puede usarse.

5 Los detectores 86, 88, los circuitos de procesamiento y control 90 y los pistones/cilindros 82, 92 se conectan a un procesador central (que no se muestra) que, basándose en la información que se recibe a partir de los detectores y el modelo de la máquina almacenada en su interior, determina las acciones que van a tomarse tanto para el funcionamiento habitual de la máquina como para los procedimientos de seguridad. Las instrucciones de desplazamiento se envían a través de unidades de potencia y actuadores adecuados de los que los pistones/cilindros 82, 92 u otras unidades de ajuste son los elementos conectados a la célula.

10 Los cilindros 82, 92 o unidades equivalentes se proporcionarán para controlar la translación/rotación de la célula a lo largo de/ alrededor de los otros ejes.

15 Se ha mostrado un único elemento de rodadura 50 con su pistón de ajuste 52, desmontado con respecto al resto de la célula con fines de claridad del dibujo. El elemento de rodadura 50 se asocia con unos medios de absorción de impactos, por ejemplo, un resorte 58, para compensar el impacto del elemento de rodadura en sí mismo contra el rotor.

20 Las características descritas de ligereza y alta eficiencia y, en el caso de uso como un motor, de par motor alto, y el alto rendimiento, permiten varias aplicaciones para el dispositivo, tales como por ejemplo:

- generador aeronáutico montado en turbina;
- 25 – motor de arranque para una turbina;
- motor de realimentación para arquitectura de turbina;
- motor para barco y hélices de aeronave;
- hélice aeronáutica para despegue vertical;
- motor para bombas para tuberías de gas y similares;
- 30 – generador eólico;
- generador industrial en general;
- regulador de par motor;
- circuito de compensación para sistemas automotrices;
- freno electromagnético con recuperación de energía;
- 35 – freno activo.

A continuación en el presente documento, tales aplicaciones se discutirán brevemente.

40 El generador aeronáutico

Esta aplicación surge a partir de la necesidad de generar energía eléctrica a bordo de aeronaves. El dispositivo 10 puede montarse directamente en las etapas a baja temperatura de funcionamiento (en tal caso, los álabes 15 que se muestran en la figura 2 serán los álabes de la etapa de turbina) y permite sustituir los alternadores convencionales que reciben energía mecánica a través de un engranaje de reducción de velocidad conectado al eje de la turbina. El generador de la invención es por lo tanto una solución en línea con las tecnologías modernas de conversión de energía eléctrica por medio de un suministro de potencia conmutada, que permite el control remoto de actuadores, dispositivos y transductores a través de una distribución completamente eléctrica. El dispositivo 10, que es capaz de generar energía eléctrica a alto voltaje y frecuencia, sin contacto directo con la turbina, permite eliminar muchas de las desventajas de la técnica convencional. En particular, tiene un peso ligero y es muy fiable, tiene una larga vida útil, tiene una construcción modular fácilmente ampliable y requiere un mínimo mantenimiento. Además, es relativamente barata, en particular con respecto al coste del motor y la caja de engranajes.

Motor de arranque para aplicaciones aeronáuticas y para turbinas en general

55 El dispositivo de acuerdo con la invención, que es completamente reversible, permite proporcionar también el sistema de arranque para los motores en una aeronave, sin peso ni costes adicionales, aparte de los de las unidades de control electrónico para el motor sin escobillas. Por el contrario, el sistema de arranque a menudo no se prevé en aeronaves debido a que es pesado y caro, de tal modo que la fase de ignición se limita sólo a las fases de estacionamiento de la aeronave, cuando puede usarse un motor externo. Esta elección limita claramente la flexibilidad y seguridad de la propia aeronave. Las mismas características de ligereza y coste limitado también permiten emplear la invención como motor de arranque para turbinas en general, también fuera del campo aeronáutico.

60 Motor de realimentación en arquitectura de turbinas

65 El compresor de baja presión o de alta presión se lleva a una velocidad de rotación que ya no está ligada a la

velocidad de rotación del árbol de la turbina, sino que se determina por el motor eléctrico construido alrededor de y de forma externa al compresor (sobrevelocidad). Esto permite optimizar el número de revoluciones y las presiones en los compresores de forma independiente de la etapa de turbinas, y da como resultado más posibilidades de ajuste para y en una optimización del rendimiento y el consumo.

5

Motor para hélices de barco

La propulsión eléctrica de barcos puede hacer uso de máquinas del tipo que trata la invención debido a que tales máquinas tienen bajo ruido, pueden montarse de forma externa al casco y, estando conectada de manera rígida al tornillo, pueden desplazarse angularmente en relación con el eje longitudinal del casco, proporcionando de ese modo una alta capacidad de maniobra al barco. El uso de la invención en tales aplicaciones se muestra en la figura 26, en la que la realización radial de imán gemelos de un dispositivo 10 de acuerdo con la invención se muestra integrada en la periferia del tornillo 11 de un barco. El bastidor se ha retirado para mostrar la disposición del dispositivo 10. En tales aplicaciones, la invención permite las siguientes ventajas:

10

15

- par motor alto en el caso de radios grandes y un número alto de polos gracias a la disposición de las células de motor en la periferia del tornillo;
- posibilidad de mantenimiento y ajuste individual de las células;
- alta fiabilidad, debido a que, incluso en el caso de fallo de una célula, las otras células pueden continuar el funcionamiento de forma independiente de la que ha fallado;
- posibilidad de funcionamiento en entornos severos y hostiles, gracias al sellado de las células con la resina;
- alta inmunidad a oscilaciones de tornillo en relación con el bastidor gracias a los elementos periféricos de rodadura con los que se equipan las células, debido a que las células pueden pivotar en relación con el tornillo a la vez que mantienen la separación constante.

20

25

Motor para hélices de aeronave y hélice aeronáutica para despegue vertical

Las ventajas de par motor alto y alta fiabilidad hacen el uso de la invención adecuado también en hélices de aeronave. La estructura de una hélice de aeronave que usa la invención es tal como se muestra en la figura 26. En tales aplicaciones, el dispositivo de la invención puede trabajar junto con unidades de generador asociadas con máquinas termodinámicas, con acumuladores, células de combustible, células fotovoltaicas, etc.

30

Además, debido a que el tornillo y el anillo de imanes/ culatas pueden orientarse también en posición horizontal, por ejemplo, paralela a la superficie del ala, existe la posibilidad de generar un flujo vertical para el despegue vertical; a continuación, después del despegue, el ensamblaje del tornillo y el anillo puede girarse para pasar progresivamente al vuelo horizontal. El uso de la invención en una aplicación de este tipo resuelve los problemas relacionados con las temperaturas muy altas de los flujos de gas de las turbinas convencionales, flujos que, en la disposición vertical de la turbina, pueden dañar la aeronave y las pistas.

35

40

Motor para bombas para tuberías de gas y similares

La aplicación en este campo se basa en los mismos principios que la de las hélices de barco. En este caso, no obstante, los imanes se ubican en el interior de la tubería mientras que las culatas se ubican en un anillo externo. De esta forma se garantiza la ausencia de cualquier contacto y el aislamiento eléctrico completo entre las culatas y la hélice en el interior de la tubería. Se obtienen por lo tanto una alta fiabilidad y una seguridad intrínseca, que son particularmente adecuadas para el bombeo de gases y de hidrocarburos.

45

Generador eólico

Para tal aplicación, los álabes 15 en la parte central del disco 12 formarán las paletas del generador eólico. Esta aplicación es posible porque no existe ningún problema en construir grandes discos, capaces de alojar paletas con los tamaños típicos para tal aplicación, a la vez que mantiene, no obstante, un peso reducido. Gracias al gran número de dipolos que puede montarse en un gran disco y a las bajas pérdidas del circuito magnético, puede conseguirse una buena eficiencia en cualquier condición de viento. La pluralidad de dipolos permite dimensionar la estructura con el fin de optimizar el equilibrio entre coste y rendimiento.

50

55

El generador industrial

La invención es adecuada para su uso a modo de generador siempre que exista un árbol que gira, debido a que la fijación del rotor 12 al árbol que gira (que por lo tanto forma el árbol 13 del dispositivo) es sencilla, mientras que el anillo de pinzas magnéticas 16, 18 puede alojarse de forma independiente debido a que carece de cualquier conexión mecánica con el elemento que gira. La invención es particularmente adecuada para su uso junto con turbinas para la producción de energía, debido a que los elementos que forman el dispositivo 10 pueden integrarse fácilmente con la propia turbina.

60

65

Regulador de par motor de C.C.

Esta aplicación necesita que también la totalidad de las culatas 16, 18 esté montada de forma que pueda girar. Si se aplica un voltaje de polaridad constante a un dispositivo 10, los imanes 14 se colocan de forma estable en una condición de equilibrio delante de las culatas magnéticas 16, 18. Por lo tanto, girando la parte externa que porta las culatas 16, 18, se induce una rotación similar en el módulo de rotor 12 que porta unos imanes 14. Esta rotación articulada del estator y el rotor continúa hasta que se obtiene el máximo par motor, que viene dado por el producto de la fuerza tangencial que se aplica de forma articulada al disco y las culatas por el brazo (radio del anillo de imán), después de lo que comienza un deslizamiento de par motor constante. En este caso, si se requieren múltiples revoluciones a un par motor constante, es necesario proporcionar un colector giratorio para permitir un flujo de corriente durante la rotación.

Haciendo que varíe el nivel de voltaje, la fuerza en cascada se varía hasta que satura el circuito ferromagnético.

Regulador de par motor de C.A.

En este caso el dispositivo de acuerdo con la invención actúa tal como se describe en conexión con el motor: aún así, en el extremo de un tiempo de roscado, el dispositivo se detiene y el par motor aplicado se reinicia, como en el caso del regulador de par motor de C.C.. En este caso, no obstante, no se requieren colectores giratorios para permitir un flujo de corriente.

Los reguladores de par motor de C.C. o de C.A. que usan la invención pueden usarse por ejemplo, en máquinas para enroscado de topones de botella, que deben funcionar con par motor constante incluso cuando la rosca se ha enroscado por completo. Tal requisito es particularmente severo en el campo de los productos de alimentación y en industria química y farmacéutica.

El circuito electromagnético de compensación

Una importante aplicación de la invención es la recuperación de energía durante desaceleración, convirtiendo energía mecánica en energía eléctrica, almacenando energía eléctrica en sistemas de acumulador mixtos (es decir, sistemas que incluyen dispositivos que funcionan en diferentes momentos y que tienen diferentes características de acumulación y de suministro) y devolviéndola, gracias a la capacidad reversible del dispositivo, como energía mecánica durante la fase de aceleración. El dispositivo sustancialmente actúa como un circuito electromagnético de compensación.

La estructura de un sistema que usa el dispositivo de acuerdo con la invención como un circuito electromagnético de compensación se muestra esquemáticamente en la figura 28.

En la estructura, el circuito electromagnético de compensación, es decir, el dispositivo 10, se monta en el árbol de impulsión entre el motor 30 y la carga, aguas arriba de la caja de engranajes 32. Bajo una condición de este tipo, se hace girar directamente el circuito de compensación 10 a la misma velocidad que el árbol de impulsión (generalmente, de aproximadamente 1.000 hasta y más de 20.000 rpm). El circuito de compensación 10 puede disponerse de forma transversal con respecto a eje del motor, centralmente en el coche, minimizando de ese modo los efectos giroscópicos, que, no obstante, son bajos debido a que el elemento en movimiento (rotor) tiene un bajo momento de inercia.

El circuito de compensación 10 se conecta a un lado a las unidades que, en su totalidad, forman el ensamblaje de recuperación de energía 33, y en el otro lado a las unidades que, en su totalidad, forman el ensamblaje de suministro de energía 35. Los ensamblajes 33, 35 se conectan a la entrada y la salida, respectivamente, del acumulador 40 que, tal como se ha dicho, puede ser un sistema de acumulador mixto. El ensamblaje de recuperación de energía 33 comprende un inversor 34 que puede conectarse entre el circuito de compensación 10 y un generador de corriente 38 mediante el control de freno 36. El generador de corriente 38 suministra a continuación al acumulador 40. El ensamblaje de suministro de energía 35 a su vez comprende un regulador de fase 42, conectado al acumulador 40 y controlado por un circuito de encóder de posición de compensación 44, y las unidades de control de motor sin escobillas 46, que pueden conectarse al circuito de compensación 10 por el control de acelerador 48.

En condición de reposo (es decir cuando el control de freno 36 no se hace funcionar), las bobinas 20, 22 (figuras 1 a 3) se mantienen en condición de circuito abierto y se alejan con respecto al rotor 12, aumentando de ese modo el entrehierro con el fin de anular los efectos de frenado durante la conducción normal, de tal modo que la fuerza de realimentación contraelectromotriz es sustancialmente 0. Durante la fase de frenado o de recuperación, el circuito eléctrico de las bobinas se cierra en el inversor 34 creando de ese modo flujo de corriente y generando una fuerza contraelectromotriz sobre el disco 12 del circuito de compensación 10. Además, ambos anillos de culatas 16, 18 se mueven más cerca del disco 12 de tal modo que el dispositivo funciona con el mínimo entrehierro y por lo tanto, la máxima fuerza contraelectromotriz. Esta fuerza da lugar a una reducción en la energía cinética, frenando de ese modo el vehículo y generando de forma simultánea una energía eléctrica alta frecuencia que se transforma por el generador de corriente 38 de tal modo que éste puede almacenarse en el acumulador 40.

Durante la aceleración, se acciona el proceso de suministro inverso. En esta fase, el circuito de compensación actúa como un motor sin escobillas. Cuando el control de acelerador 48 se acciona, se aplica una variación de voltaje con rotación de fase y la inversión de la polaridad induce a continuación una fuerza sobre los imanes permanentes 14 que hacen que el disco 12 gire. Para el resto del funcionamiento, se aplican las consideraciones ya hechas con respecto al funcionamiento como un motor. Las presentes tecnologías también permiten el suministro de altas cantidades de energía en corto tiempo: esto permite la obtención de, durante la fase de suministro, muy altos pares motor de aceleración y curvas muy abruptas para la respuesta del motor.

10 Freno electromagnético

Un dispositivo 10 de acuerdo con la invención, montado entre un motor termodinámico 20 y las unidades de transmisión 32 de un vehículo tal como se muestra en la figura 28, pueden también actuar como un freno electromagnético. En una aplicación de este tipo, durante el funcionamiento normal, las bobinas 20, 22 (figuras 1 a 3) se mantienen en condición de circuito abierto y las culatas 16, 18 se mantienen a una gran distancia con respecto al rotor como en el caso anterior, de tal modo que la fuerza de realimentación contraelectromotriz es sustancialmente 0. Al frenar, las culatas se mueven más cerca del rotor que antes, y el circuito eléctrico de las bobinas se cierra en una carga resistiva (en lugar de cerrarse en un inversor, como en el caso del circuito de compensación), y la energía de frenado se transforma en energía térmica mientras que una fuerza de frenado contraelectromotriz actúa sobre el disco.

Freno activo

Otro uso posible de la invención es como un freno activo. El principio es un desarrollo de lo descrito para el circuito de compensación, excepto en que en el presente caso la acumulación de energía tiene lugar también durante el funcionamiento normal o fase de conducción del vehículo. Durante la fase de frenado, el circuito de bobinas 20, 22 no sólo se cierra en una carga, sino que también se acciona con el fin de funcionar como un motor de giro contrario: la energía fluye entonces desde el acumulador 40 (figura 28) hasta el dispositivo frenado, reduciendo de ese modo el tiempo de frenado. Disponiendo un dispositivo 10 en el eje de cada rueda, puede también evitarse un bloqueo de ruedas: al frenar, la acción de frenado activo puede distribuirse de forma independiente a cada rueda, gracias a la posibilidad de ajustar axialmente la posición relativa del rotor y el estator, y una acción de giro contrario puede proporcionarse de una forma diferenciada, adecuada para compensar las cargas no equilibradas típicos de un frenado de emergencia. Las ventajas generales de una aplicación de este tipo se relacionan con el par motor alto del dispositivo, la rapidez de intervención y el bajo consumo de potencia, debido a que la energía implicada es alta pero durante cortos periodos.

Es evidente que la descripción anterior se ha dado sólo a modo de ejemplo no limitante y que son posibles cambios y modificaciones a la realización descrita, en especial con respecto a formas, tamaños, materiales, tipos de componentes y así sucesivamente, sin alejarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, también cuando las culatas, y por lo tanto, las células, forman un anillo completo delante del rotor, no necesitan estar distribuidas de forma regular a lo largo de la circunferencia del rotor. Esta distribución no habitual es útil para reducir el rizado, así como cuando el dispositivo comprende ambos módulos de generador y de motor o tiene una estructura de fases múltiples. Si fuera necesario, la distribución no habitual de las células de estator puede compensarse electrónicamente por el sistema de control del dispositivo. Asimismo, son posibles aplicaciones adicionales además de las que se mencionan anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo electromagnético (10) con funcionamiento de generador–motor reversible, comprendiendo el dispositivo (10):
- 5 –un rotor (12; 12') que gira alrededor de un eje y que soporta una pluralidad de imanes (14; 14', 14'a, 14'b; 140) distribuidos a intervalos regulares y con orientaciones alternas en un patrón sustancialmente forma de anillo;
- 10 – un estator (16, 20a, 20b, 18, 22a, 22b; 16', 18', 20', 22') que comprende al menos un conjunto de culatas magnéticas (16, 18; 16', 18'; 6) teniendo cada una un par de brazos que se proyectan (17a, 17b, 19a, 19b; 7) que se extienden hacia los imanes (14; 14', 14'a, 14'b; 140) y que portan una bobina respectiva (20a, 20b, 22a, 22b; 20', 22'; 21) para la conexión eléctrica con un dispositivo de utilización o con una unidad de potencia, una culata magnética (16, 18; 16', 18'; 6) en el o en cada conjunto siendo parte, junto con un par de imanes (14; 14', 14'a, 14'b; 140) opuestos a los brazos de la culata (17a, 17b, 19a, 19b; 7) en un instante dado, de un mismo circuito magnético cerrado a través de un entrehierro que separa la culata respecto de los imanes;
- 15 **caracterizado por que** las culatas magnéticas (16, 18; 16', 18'; 6) se montan de forma independiente en unos soportes (54), comprendiendo los soportes (54) unas unidades de ajuste (82, 92) que ajustan axial y radialmente dichos soportes (54) para un ajuste estático y dinámico de las posiciones de las culatas individuales (16, 18; 16', 18'; 6) en relación con los imanes (14; 14', 14'a, 14'b; 140).
- 20
2. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 1, en el que dichas unidades de ajuste (82, 92) ajustan axial y radialmente dichos soportes (54) a través de un movimiento de traslación a lo largo de tres ejes ortogonales.
- 25
3. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en el que dichas unidades de ajuste (82, 92) ajustan además, dichos soportes (54) a través de un movimiento de rotación alrededor de al menos un eje.
4. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 3, en el que dichas unidades de ajuste (82, 92) ajustan dichos soportes (54) a través de un movimiento de rotación alrededor de tres ejes.
- 30
5. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que dicho estator (16, 20a, 20b; 16', 20') incluye un único conjunto de culatas magnéticas (16; 16').
6. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 5, en el que dicho rotor (12; 12') se hace de un material ferromagnético, y dicho circuito magnético comprende un par de imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) y una culata (16; 16') orientada hacia el par de imanes y se cierra a través del rotor (12; 12') y un entrehierro que separa la culata respecto de los imanes.
- 35
7. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 5, en el que dicho rotor (12; 12'), en unas áreas no ocupadas por los imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140), se hace de un material no ferromagnético, los imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) orientados hacia una misma culata se conectan mediante unos elementos ferromagnéticos (61), y dicho circuito magnético comprende un par de imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) y una culata (16; 16') orientada hacia el par de imanes, y se cierra a través de los elementos ferromagnéticos (61) y un entrehierro que separa la culata respecto de los imanes.
- 40
8. El dispositivo tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que: dicho rotor (12, 12'), en unas áreas no ocupadas por los imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140), se hace de un material no ferromagnético; dicho estator (16, 20a, 20b, 18, 22a, 22b; 16', 18', 20', 22') incluye un primer y un segundo conjunto de culatas magnéticas (16, 18; 16', 18'; 6) dispuestos simétricamente en relación con el rotor (12, 12'), y dicho circuito magnético comprende un par de imanes adyacentes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) y una culata magnética (16, 18; 16', 18'; 6) en cada uno del primer y el segundo conjunto.
- 45
9. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 8 en el que dichos imanes (14; 14', 14'a, 14'b; 140) son áreas magnetizadas en el rotor (12; 12') y forman una sucesión de polos opuestos de forma alterna sobre las superficies del rotor orientadas hacia las culatas (16, 18; 16', 18'; 6).
- 50
10. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que dichas culatas (16, 18; 16', 18'; 6) se disponen delante de un arco o de un número de arcos discretos de imanes en el anillo de imán.
- 55
11. El dispositivo tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que dichas culatas (16, 18; 16', 18'; 6) se distribuyen delante de la totalidad del anillo de imán.
- 60
12. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 11, en el que dicho rotor (12; 12') porta un número M de imanes (14; 14', 14'a, 14'b; 140) que se elige de:
- 65 – 2N, siendo N el número de las culatas magnéticas (16, 18; 16', 18'; 6) en el o en cada conjunto;

– un número par diferente de 2N.

- 5 13. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que la bobina (20a, 20b, 22a, 22b; 20', 22'; 21) de cada brazo de culata (17a, 17b, 19a, 19b; 7) se conecta de forma individual a un dispositivo de utilización o a una unidad de potencia.
- 10 14. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 12, en el que las bobinas (20a, 20b, 22a, 22b; 20', 22'; 21) de los brazos (17a, 17b, 19a, 19b; 7) que tienen una misma relación de fase geométrica con un imán opuesto (14; 14'; 14'a, 14'b) se conectan entre sí en el interior del dispositivo y tienen una conexión común con un dispositivo de utilización o con una unidad de potencia.
- 15 15. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 12, en el que las bobinas (20a, 20b, 22a, 22b; 20', 22'; 21) de los brazos alternos (17a, 17b, 19a, 19b; 7) que tienen una misma relación de fase geométrica con un imán opuesto (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) se conectan entre sí en el interior del dispositivo y tienen unas conexiones comunes respectivas con fases opuestas a un dispositivo de utilización o a una unidad de potencia.
- 20 16. El dispositivo tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 en el que las bobinas (20a, 20b, 22a, 22b; 20', 22'; 21) de algunos brazos (17a, 17b, 19a, 19b; 7) se conectan a un dispositivo de utilización, y las bobinas de algunos otros brazos (17a, 17b, 19a, 19h; 7) se conectan a una unidad de potencia.
- 25 17. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que dicho rotor (12') es un cuerpo cilíndrico que porta la pluralidad de imanes (14'a, 14'b) en su superficie lateral y la pluralidad de imanes se disponen en dos filas paralelas (14'a, 14'b) sobre dicha superficie lateral, teniendo un imán en una fila una orientación opuesta a un imán adyacente en la otra fila y estando cada culata (16') dispuesta con el fin de unir ambas filas de imanes (14'a, 14'b).
- 30 18. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que dichos brazos (17a, 17b, 19a, 19b; 7) y dichos imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) tienen una forma en sección transversal que se elige del grupo que incluye: sección transversal circular; sección transversal no circular curvilínea; sección transversal poligonal cóncava; sección transversal poligonal convexa, en particular cuadrada o rectangular; y en el que las áreas orientadas de los imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) y los brazos (17a, 17b, 19a, 19b; 7) tienen unos tamaños que son los mismos.
- 35 19. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 18, en el que dichos brazos (17a, 17b, 19a, 19b; 7) y dichos imanes (14; 14'; 14'a, 14'b; 140) tienen unas formas en sección transversal diferentes.
- 40 20. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que cada brazo de culata (7) incluye una base (7c) para su fijación a un soporte, un vástago (7b) que se extiende a partir de la base (7c) hacia los imanes (14'; 140) y que tiene la bobina (21) arrollada sobre el mismo, y un cabezal (7a) unido al extremo del vástago opuesto a la base (7c), y en el que dicho cabezal tiene un tamaño de sección transversal más grande que el tamaño de sección transversal en conjunto del vástago (7b) y la bobina (21) y se dispone para ocultar la bobina (21) con respecto a un imán opuesto (14'; 140).
- 45 21. El dispositivo tal como se reivindica en la reivindicación 20, en el que cada culata (6) comprende un par de brazos montados de forma individual (7) que definen un ángulo abierto hacia los imanes (14'; 140), y en el que se proporciona una separación (77) entre las bases (7c) de dos brazos adyacentes (7) respectivamente que pertenecen a dos culatas adyacentes (6).
- 50 22. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que dichas culatas magnéticas (16, 18) se hacen de un material que se elige del grupo: materiales ferrocerámicos; lámina de hierro-silicio; ferritas de Ni-Zn o de Mn-Zn; materiales de Mn-Ni.
- 55 23. El dispositivo tal como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en el que dicho dispositivo (10) está integrado en un impulsor de un aparato que se acciona mediante el movimiento de un fluido.
- 60 24. Un aparato que tiene un impulsor que se acciona mediante el movimiento de un fluido, **caracterizado por que** dicho impulsor tiene integrado en el mismo un dispositivo (10) tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 23.
25. El aparato tal como se reivindica en la reivindicación 24, en el que dicho aparato se elige del grupo que incluye: turbinas, en particular para motores aeronáuticos o navales, tornillos de hélices para aplicaciones aeronáuticas o navales, bombas para tuberías de gas, generadores eólicos.

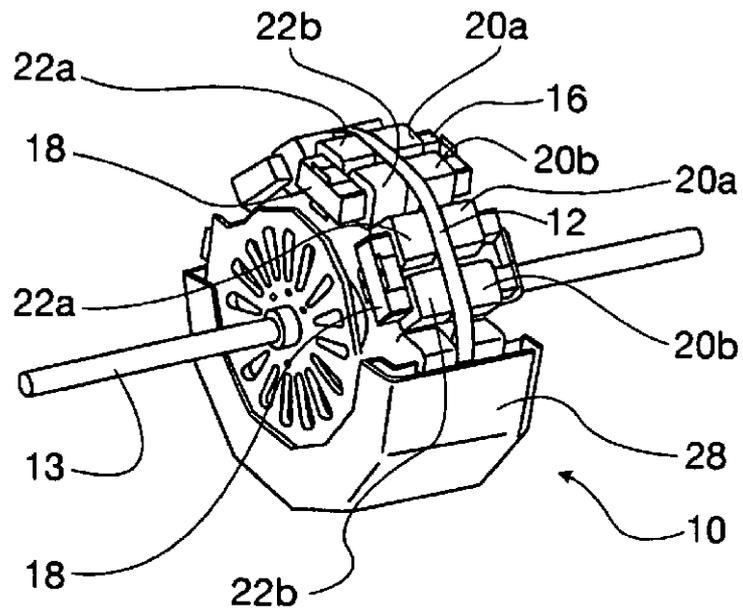


Fig. 1

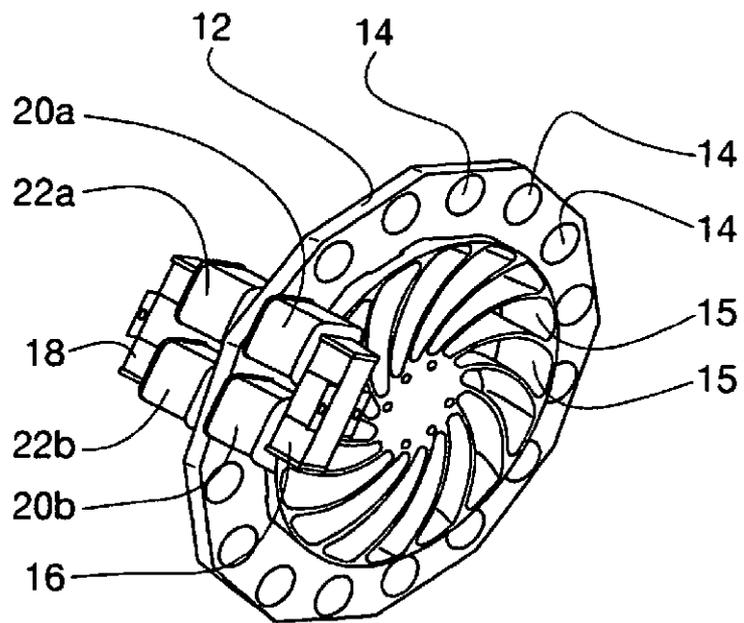


Fig. 2

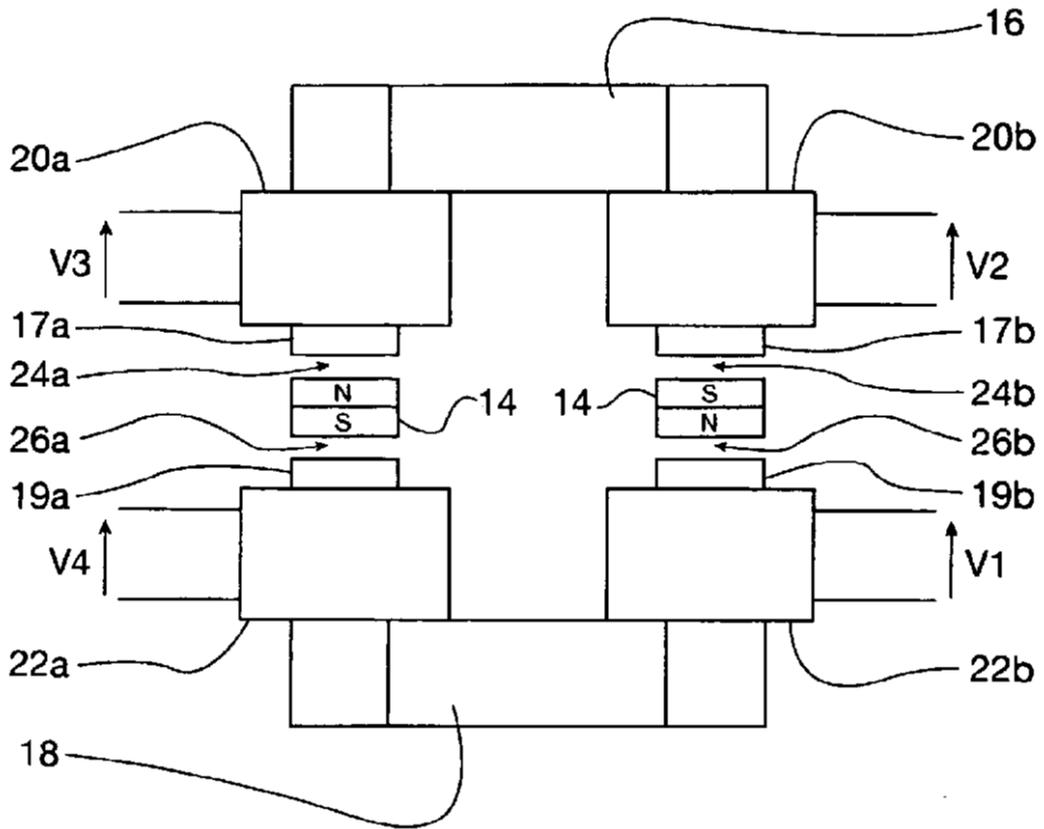


Fig. 3

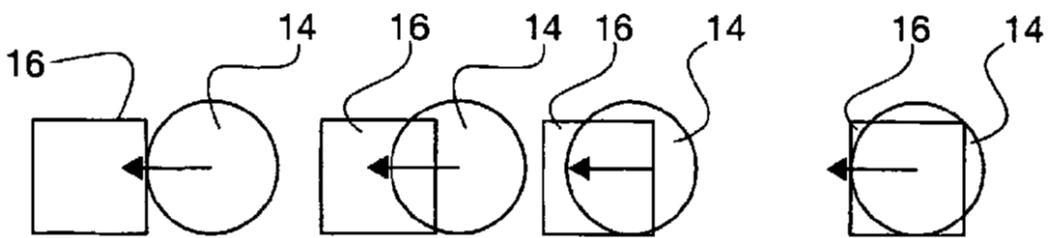


Fig. 4

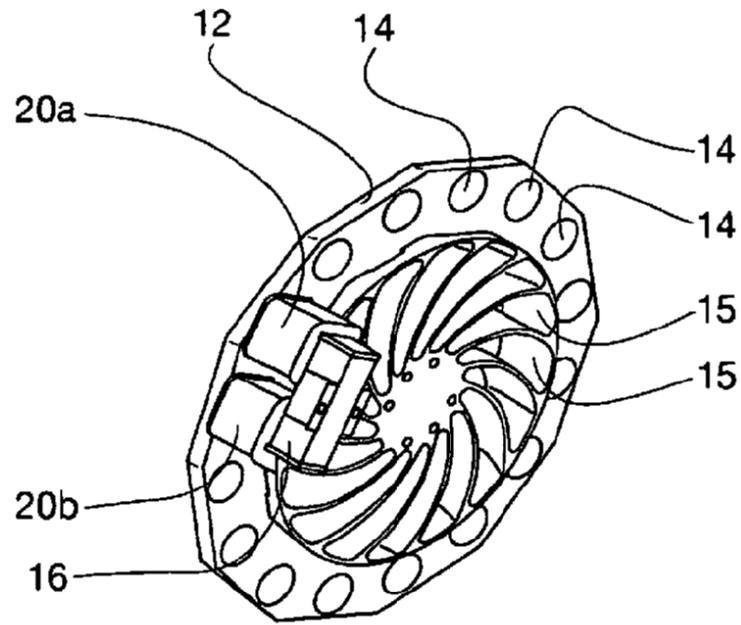


Fig. 5

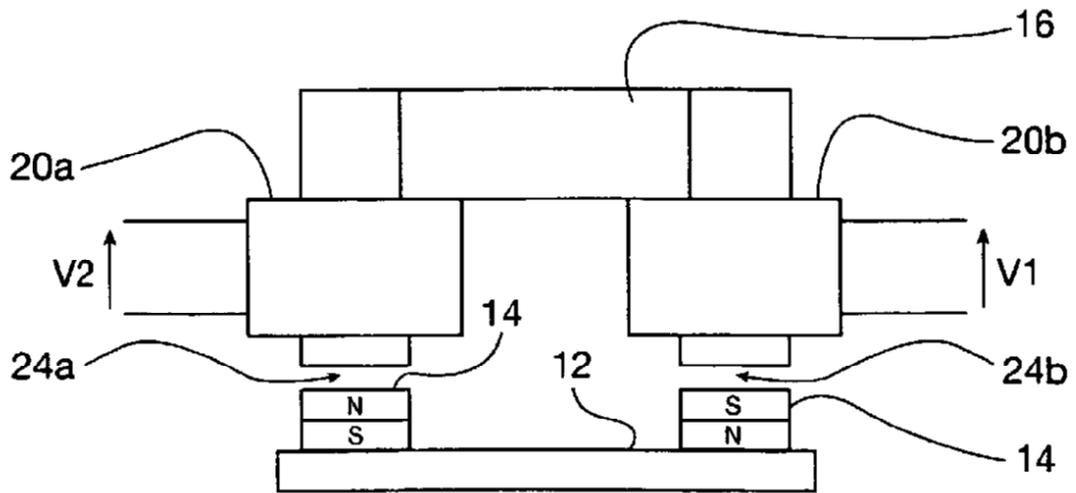


Fig. 6

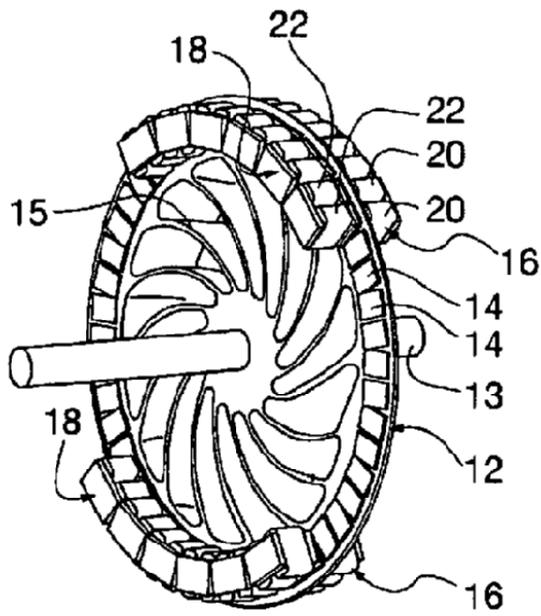


Fig. 7

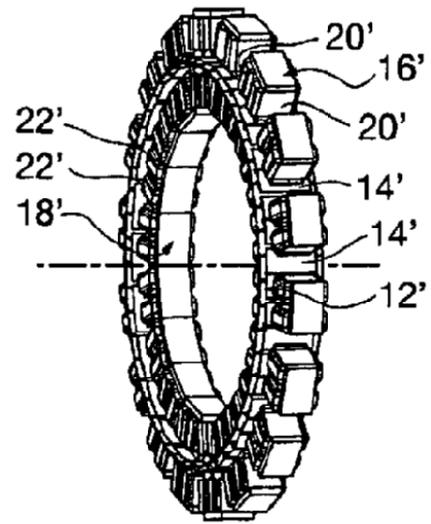


Fig. 8

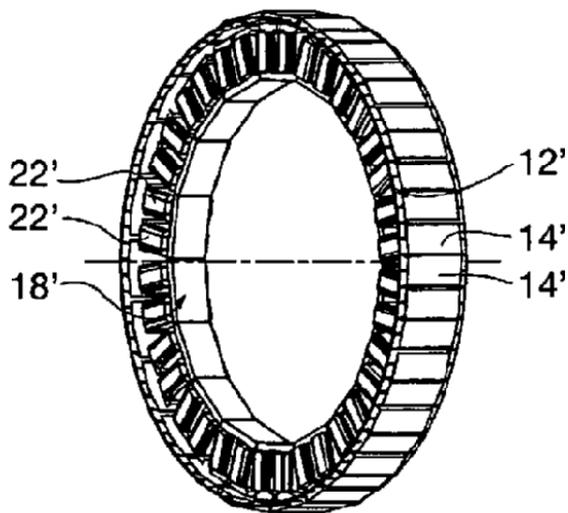


Fig. 9

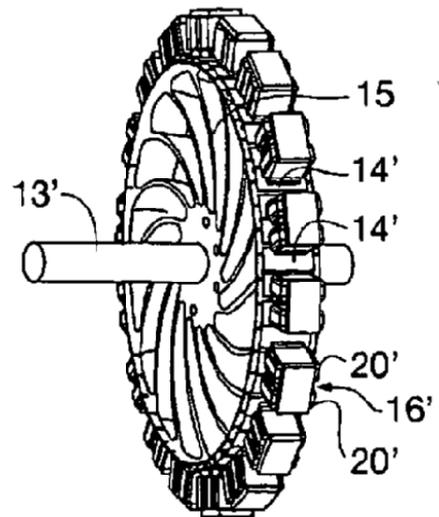


Fig. 10

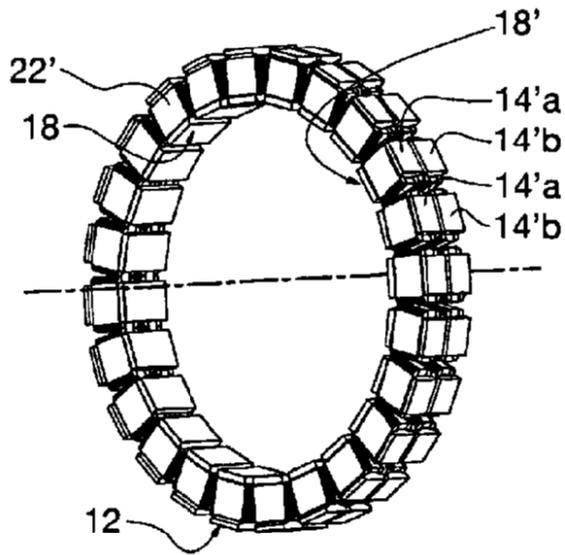


Fig. 11

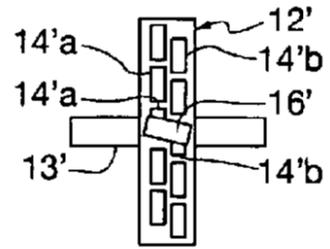


Fig. 12

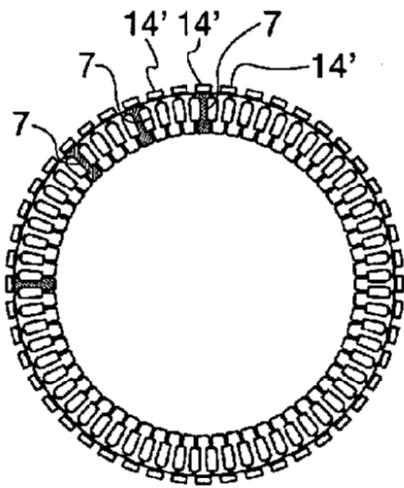


Fig. 13

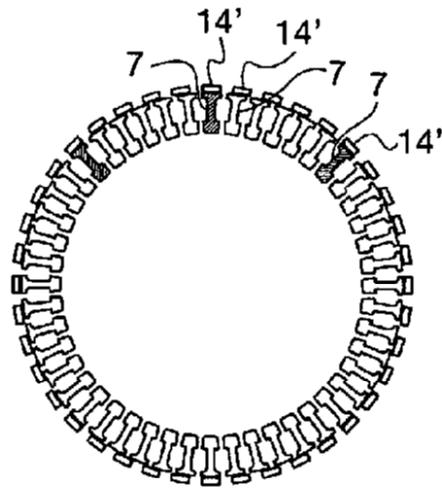


Fig. 14

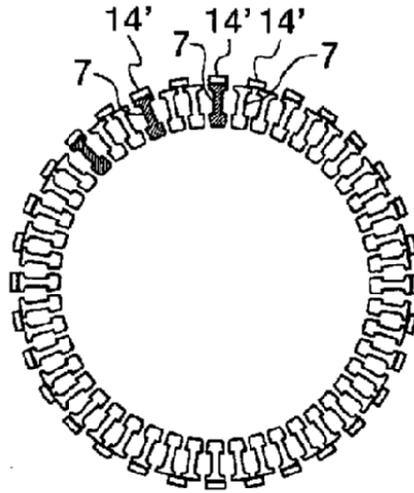


Fig. 15

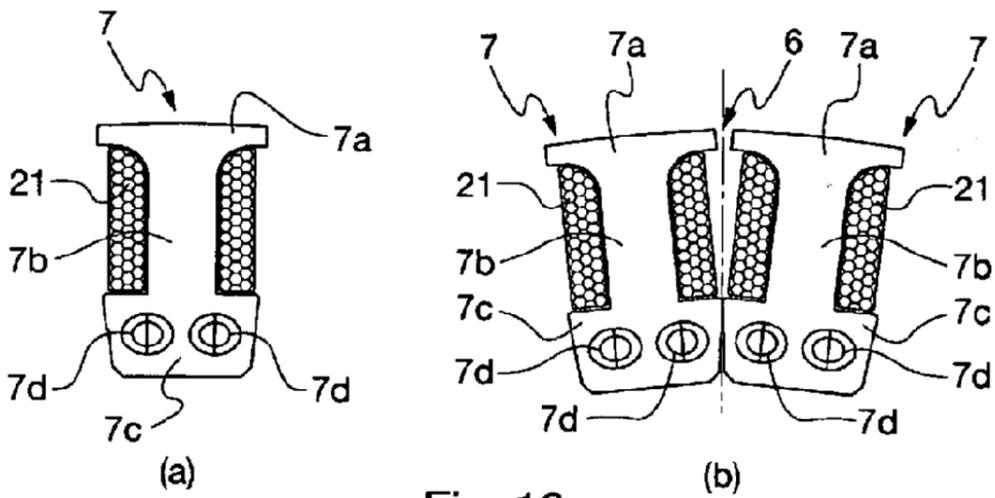


Fig. 16

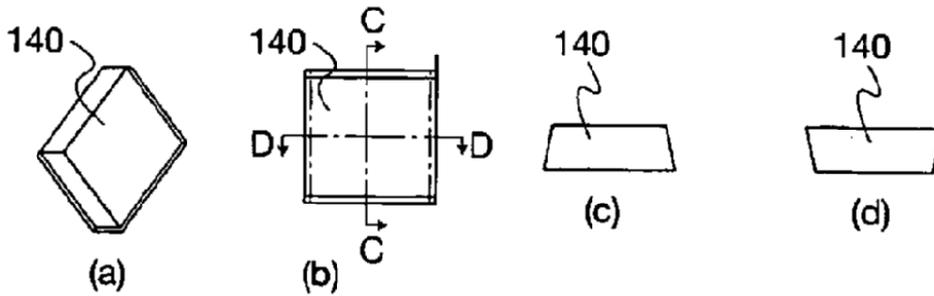


Fig. 17

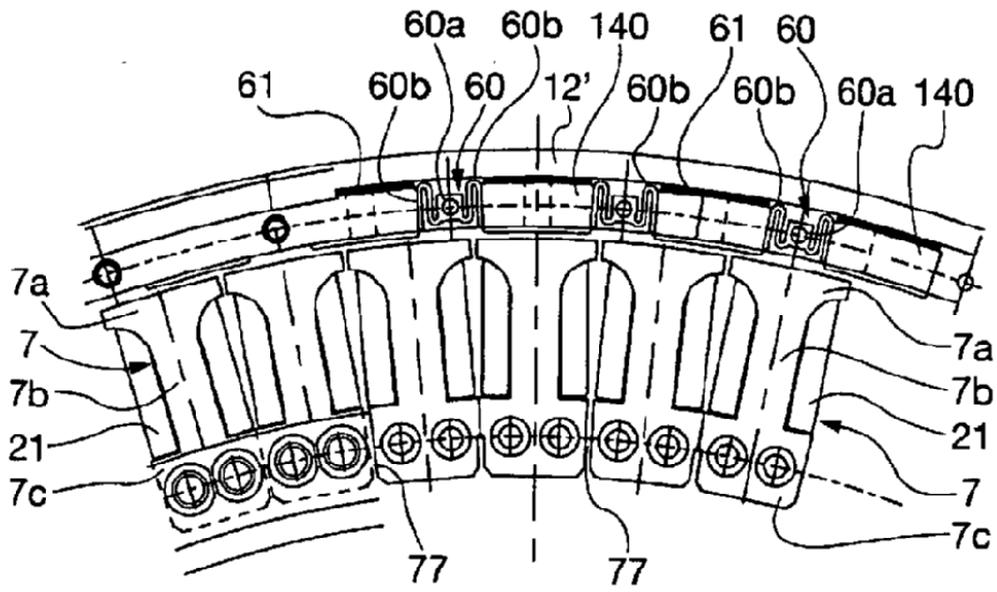


Fig. 18

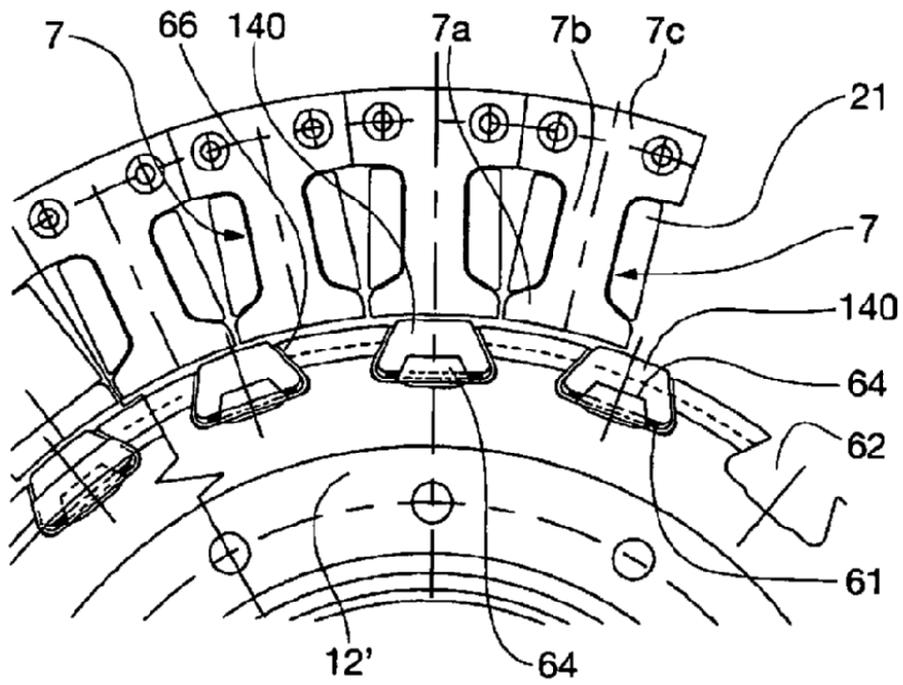


Fig. 19

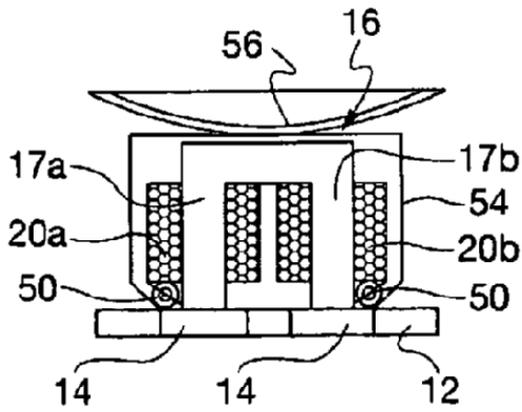


Fig. 20

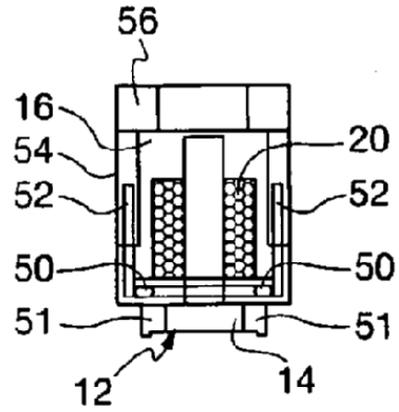


Fig. 21

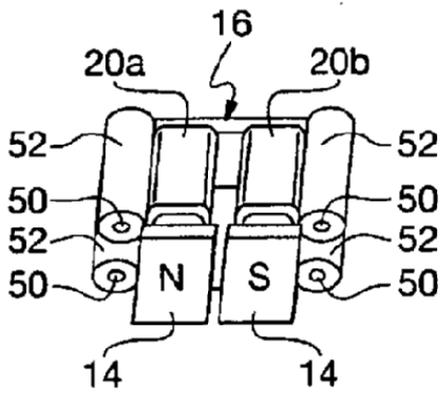


Fig. 22

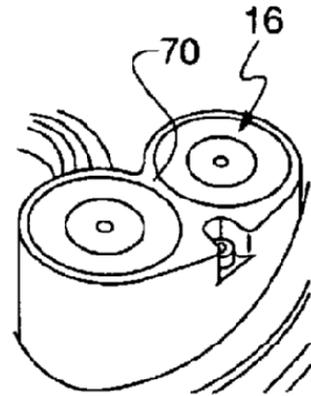


Fig. 23

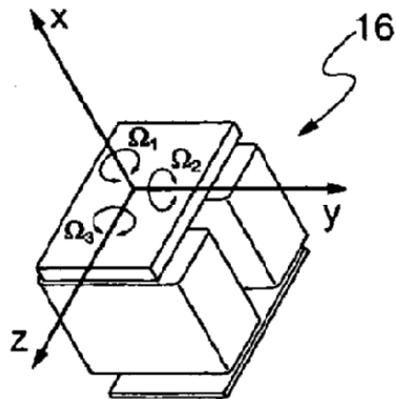


Fig. 24

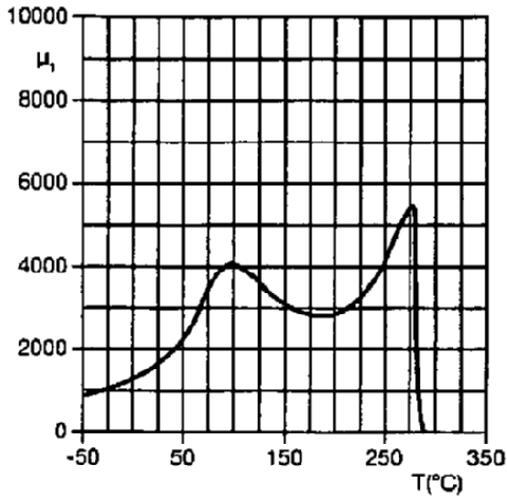


Fig. 25

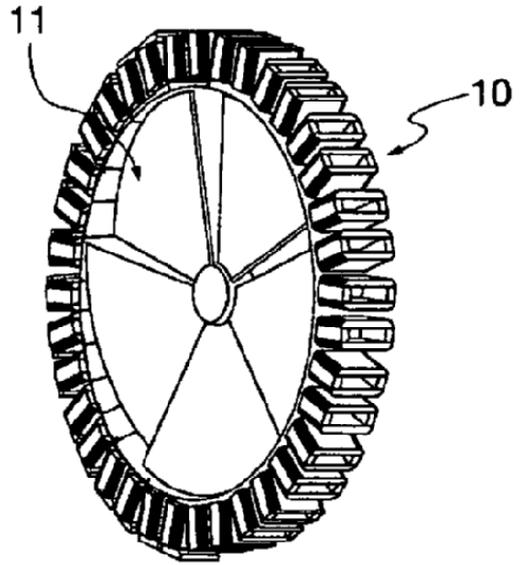


Fig. 26

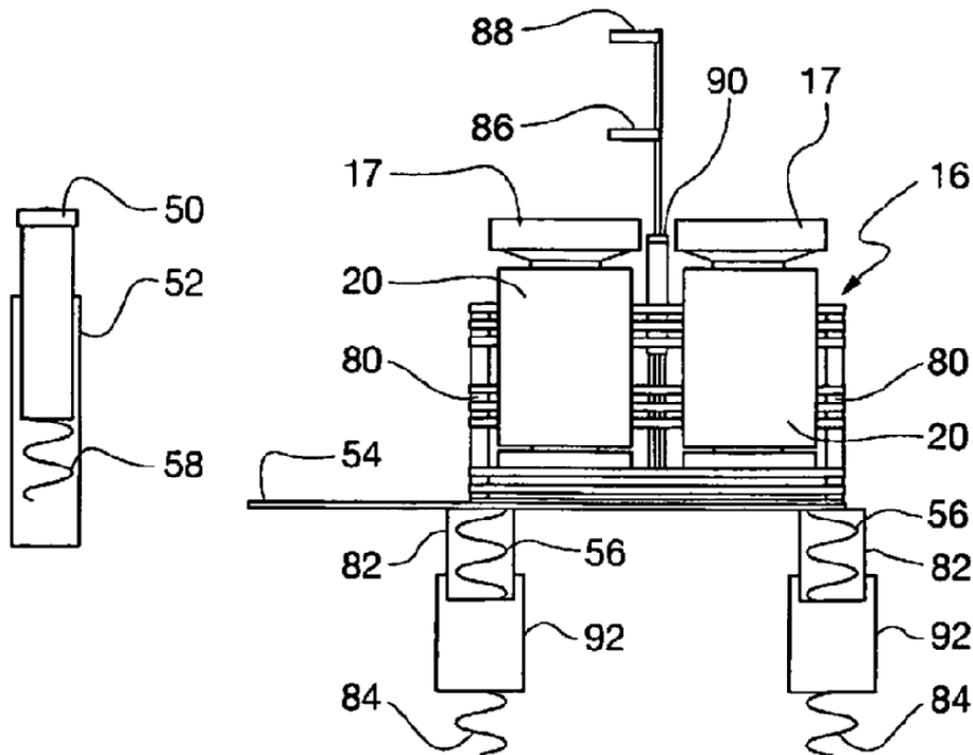


Fig. 27

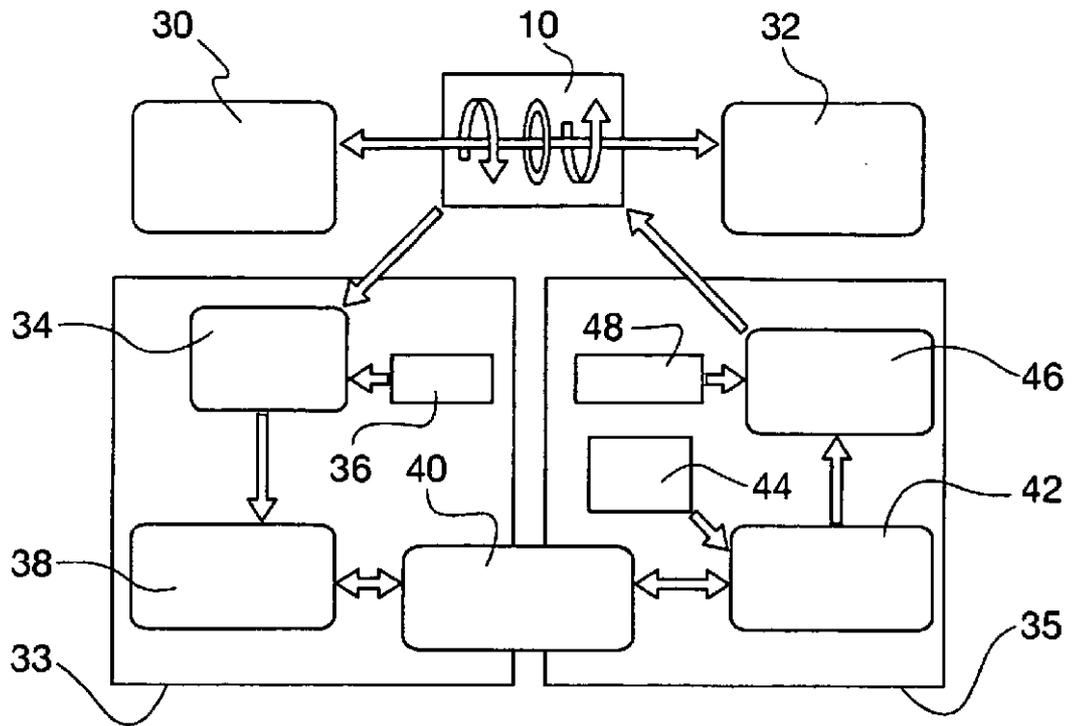


Fig. 28