

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 348**

51 Int. Cl.:  
**H02K 21/12** (2006.01)  
**H02K 29/03** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07007689 .8**  
96 Fecha de presentación: **16.04.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1848096**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.10.2007**

54 Título: **MÁQUINAS ELÉCTRICAS CON RELUCTANCIA REDUCIDA.**

30 Prioridad:  
**18.04.2006 GB 0607545**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.11.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.11.2011**

73 Titular/es:  
**CONVERTEAM UK LTD  
BOUGHTON ROAD RUGBY  
WARWICKSHIRE CV21 1BU, GB**

72 Inventor/es:  
**Clark, Paul Eaton**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 368 348 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

Máquinas eléctricas con reluctancia reducida

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna (ca) basadas en imanes permanentes y la minimización del par de reluctancia exhibido por tales máquinas. En particular, se refiere a máquinas eléctricas con reluctancia reducida debido al desplazamiento de sus polos magnéticos.

**Técnica antecedente**

10 Un problema común que se da en el funcionamiento de las máquinas eléctricas es la reluctancia. La reluctancia es la presencia de un par magnético no lineal durante el funcionamiento de la máquina debido al efecto de la geometría del rotor y el estator en el entrehierro en la distribución de flujo y las fuerzas entre el rotor y el estator. Específicamente, este es causado por que rotor que tiene posiciones preferidas de baja energía potencial respecto del rotor, donde la atracción entre el rotor y el estator está al máximo, y posiciones correspondientes de alta energía potencial entre cada una de las posiciones de baja energía. Es la diferencia en energía potencial entre estas posiciones la que determinan la magnitud del par de reluctancia.

15 La reluctancia durante el funcionamiento de máquinas eléctricas puede dar como resultado una menor eficiencia y una menor fiabilidad, así como causar una vibración y un ruido no deseados, y en casos extremos un fallo total. La reluctancia es bien conocida en las máquinas en las que el estator, el rotor o ambos el rotor y el estator exhiben cierta importancia. El efecto es también bien conocido en las máquinas de inducción en las cuales los polos magnéticos y las ranuras de bobinado interactúan para causar una reluctancia seria para numerosas ranuras de bobinado particulares. La reluctancia es particularmente pronunciada en las máquinas que tienen un número de ranuras de bobinado que es un múltiplo integral del número de polos magnéticos y donde tanto las ranuras de bobinado como los polos magnéticos están uniformemente espaciados alrededor de la circunferencia de los cuerpos en los cuales están formados. Esto es así, debido a la simetría de tales máquinas, cuando un polo magnético está en su posición de energía potencial más baja respecto de las ranuras de bobinado, todos los otros polos magnéticos estarán también en su posición de energía potencial más baja y el rotor estará de este modo en su posible posición de energía potencial más baja respecto del estator. Además, esto significa que si hay  $n$  ranuras de bobinado, el rotor tendrá  $n$  posiciones de baja energía potencial respecto del estator y la frecuencia de reluctancia durante el funcionamiento de la máquina será un producto de la frecuencia de rotación del rotor y  $n$ .

30 Las máquinas eléctricas típicas basadas en imanes permanentes están formadas de tal manera que el rotor está montado giratoriamente dentro del estator, los polos magnéticos están uniformemente espaciados alrededor de la circunferencia de la superficie exterior del rotor y las ranuras de bobinado están espaciadas uniformemente alrededor de la circunferencia de la superficie interior del estator. Sin embargo, otras consideraciones son también posibles. Por ejemplo, es posible que el rotor esté montado giratoriamente en el exterior del estator. Es también posible que los polos magnéticos esté fijado al estator y las ranuras de bobinado estén formadas en el rotor. Respecto de la reluctancia, las consideraciones de diseño para máquinas eléctricas basadas en imanes permanentes según cualquiera de estas construcciones son sustancialmente las mismas.

40 Los factores que se deben considerar cuando se decide sobre el número de ranuras de bobinado en una máquina eléctrica son generalmente bien conocidos. Por ejemplo, es conocido que cuando una máquina eléctrica tiene un número de ranuras de bobinado que es un múltiplo integral del número de sus polos magnéticos, la fuerza magnetomotriz (f.m.m) creada por el bobinado de estator de la máquina durante el funcionamiento contendrá un número minimizado de armónicos pero la máquina también experimentará una reluctancia pronunciada durante su funcionamiento.

45 Se han propuesto numerosos procedimientos de minimización de reluctancia y se han implementado con diversos grados de éxito. Para algunos tipos de máquinas es posible minimizar la reluctancia teniendo un número de ranuras de bobinado que no es un múltiplo integral del número de polos magnéticos. Generalmente se hace referencia a tales bobinados como que comprenden ranuras fraccionales por polo por fase” y son bien conocidos por el experto en la técnica. Sin embargo, en algunos casos esto no puede ser preferido o ni siquiera posible. Por ejemplo, en las máquinas eléctricas de grandes dimensiones, las opciones de tener diferentes números de ranuras de bobinado que no sean múltiplos del número de polos magnéticos son muy limitadas ya que los modelos de flujos no sincrónicos que resultan de tales cambios en el número de ranura de bobinado conducen inevitablemente a pérdidas adicionales en los polos magnéticos. Estas pérdidas pueden ser extremadamente altas e incluso hacer que el procedimiento sea inservible.

50 Un procedimiento alternativo para reducir la reluctancia es la incorporación de cuñas magnéticas en las ranuras de bobinado pero este procedimiento es costoso. También es posible usar ranuras de bobinado “semicerradas” para

reducir la reluctancia pero para los tipos de bobinado que comprenden bobinas formadas y que son comunes en las grandes máquinas este tipo de ranura de bobinado puede conducir a un alto coste de bobinado inaceptable. Asimismo se han propuesto máquinas con imanes permanentes que tienen polos magnéticos específicamente conformados para reducir la reluctancia. Típicamente, se propone que las superficies exteriores de los polos magnéticos se formen de tal manera que el entrehierro entre el estator y los polos magnéticos no sea uniforme.

Otro procedimiento para minimizar el par de reluctancia en máquinas eléctricas basadas en imanes permanentes es tener los imanes desviados de su disposición convencional. Por ejemplo la patente japonesa 2005-261188 divulga una máquina con reluctancia reducida en la cual los imanes están desviados de tal manera que no son paralelos al eje de la máquina.

Un procedimiento adicional para minimizar el par de reluctancia se divulga en la patente de los Estados Unidos 4.713.569. Esta patente divulga un motor eléctrico ca con un rotor de imanes permanentes que contiene una pluralidad de polos magnéticos que están angularmente desplazados de sus posiciones de referencia con una cantidad dependiente del número de polos magnéticos y el número de polos de estator (ranuras de bobinado) en la máquina. Las posiciones de referencia de los polos magnéticos son las posiciones en las cuales se situarían si estuviesen espaciados circunferencialmente de manera regular. Específicamente, en las máquinas eléctricas según esta patente, cada polo magnético está desplazado de su posición de referencia en una cantidad diferente, siendo todas las diferentes cantidades un múltiplo integral de  $360^\circ$  dividido por el producto del número de polos de estator (ranuras de bobinado) y el número de polos magnéticos de manera que ningún polo magnético está desplazado de su posición de referencia en más de un paso de los polos de estator (ranuras de bobinado). El ejemplo específico dado en la memoria es de un motor eléctrico ca con un rotor de imanes permanentes con 8 polos magnéticos y un estator con 24 polos (ranuras de bobinado) y en el cual los polos magnéticos están desplazados de sus posiciones de referencia en múltiplos integrales de  $1.875^\circ$  ( $360/(24 \times 8)$ ) de manera que no hay dos polos desplazados de sus posiciones de referencia en la misma cantidad y el octavo polo magnético (nominal) es desplazado de su posición de referencia en una cantidad igual al paso del polo del estator (ranura de bobinado).

La construcción del rotor divulgada en la Patentes de los Estados Unidos 4.713.569 proporciona una reducción sustancial en par de reluctancia en comparación con las máquinas eléctricas convencionales con polos magnéticos uniformemente espaciados. Sin embargo, en la mayoría de los casos no se prefiere esta construcción del rotor a la construcción convencional, debido a su impacto en otras consideraciones de diseño. Por ejemplo, esta construcción se traduce en asimetría total del posicionamiento de los polos magnéticos alrededor del rotor. Si la máquina eléctrica está diseñada para su uso a alta velocidad, esta asimetría es indeseable, ya que significa que la disposición de los polos magnéticos no está mecánicamente equilibrada. Esta asimetría total también se traduce en un contenido de armónicos pronunciado ya sea la f.m.m creado por el bobinado de estator, si la máquina es un motor o la fuerza electromotriz (f.e.m) de la forma de onda creada en el bobinado de estator, si la máquina es un generador.

La construcción del rotor de la Patentes de los Estados Unidos 4713569 puede también no ser preferible debido a la separación del primer y último los polos magnéticos como se define en la patente. Esto es debido a que la separación angular entre estos dos polos magnéticos es significativamente menor que la de una máquina eléctrica convencional con polos magnéticos uniformemente espaciados. En concreto, la separación entre estos dos polos es menor que el espaciamiento uniforme en una cantidad igual al paso de ranura de bobinado. Dependiendo de la anchura angular de los imanes que forman los polos magnéticos, esto podría llevar a que los dos polos magnéticos estén en contacto con o incida entre si, lo cual es generalmente indeseable, como se verá más adelante.

Por último, el requisito indispensable para el posicionamiento de los polos magnéticos también conduce a una falta de flexibilidad en el diseño de máquinas según la patente de los Estados Unidos 4.713.569. Es decir, las posiciones de los polos magnéticos no se pueden modificar en respuesta a cualquier otra consideración de diseño.

La solicitud de patente de los Estados Unidos US 2002/0074887, la solicitud de patente internacional WO 2004/070921 y patente de los Estados Unidos 5.610.464 divulgan todas una máquina eléctrica rotativa, donde se reduce el par de reluctancia controlando la disposición o el espaciamiento de los polos magnéticos alrededor de la superficie del rotor.

### **Sumario de la invención**

La presente invención proporciona una máquina eléctrica que incluye un primer cuerpo que tiene una de una pluralidad de ranuras de bobinado circunferencialmente espaciadas y una pluralidad de polos magnéticos espaciados circunferencialmente formados en su superficie radialmente interior, y un segundo cuerpo que se encuentra dentro del primer cuerpo y que tiene la otra de la pluralidad de ranuras de bobinado circunferencialmente espaciadas y la pluralidad de polos magnéticos circunferencialmente espaciados formados en su superficie radialmente exterior, siendo uno del primer cuerpo y el segundo cuerpo un rotor montado de forma giratoria y siendo el otro del primer cuerpo y el segundo cuerpo un estator montado fijamente, teniendo las ranuras de bobinado un paso de referencia angular que es igual a  $360^\circ$  dividido por el número de ranuras de bobinado en la máquina eléctrica; comprendiendo

los polos magnéticos al menos un primer grupo que incluye al menos cuatro polos magnéticos circunferencialmente adyacentes y un segundo grupo que incluye al menos cuatro polos magnéticos circunferencialmente adyacentes, en el cual el grupo primero y el segundo grupo incluye el mismo número de polos magnéticos y tienen el mismo modelo de desplazamiento; teniendo cada polo magnético una posición de referencia en el cual las posiciones de referencia están espaciadas uniformemente alrededor de la circunferencia del cuerpo en el que se forman los polos magnéticos; en el cual se determina el modelo de desplazamiento de los polos magnéticos en el primer y segundo grupos según la fórmula:

$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

en la que:

10  $D$  = el desplazamiento angular (en pasos de ranuras de bobinado angulares de referencia) del polo magnético  $p$  de su posición de referencia,

$N$  = el número de polos magnéticos en el primer y segundo grupo, y

$p$  = el número de polos magnéticos dentro del primer y segundo grupo, contado desde el grupo de polos magnético adyacente más cercano.

15 Los polos magnéticos se pueden formar sobre el estator y las ranuras de bobinado se pueden formar en el rotor. Sin embargo, se prefiere generalmente que los polos magnéticos se formen sobre el rotor y las ranuras de bobinado se forman en el estator. Para facilitar la comprensión, la siguiente exposición de los problemas relativos a las máquinas eléctricas según esta invención se refiere a máquinas eléctricas que tienen esta segunda disposición. Sin embargo, se ha de entender que las máquinas eléctricas según la invención también se pueden construir en la primera disposición y la siguiente exposición se aplica igualmente a ambas disposiciones a menos que se especifique otra cosa.

20 Se considera que se preferirá generalmente que las máquinas eléctricas según la invención se construirá de manera que el primer cuerpo es el estator y el segundo estator es el rotor. Es decir, que el rotor está montado giratoriamente dentro del estator. Sin embargo, se ha de entender que las máquinas eléctricas según la invención en la cual el rotor es el primer cuerpo y montado de manera giratoria en el exterior se encuentra el segundo cuerpo que es el estator, también son posibles y se pueden incluso preferir para algunas aplicaciones. La siguiente exposición se aplica igualmente a ambas configuraciones, a menos que se especifique otra cosa.

30 La definición del número de polos magnéticos en cada grupo de polos magnéticos y si un polo magnético individual es un polo desplazado o un polo circunferencialmente exterior que está en su posición de referencia puede ser algo arbitraria. En algunas realizaciones de la invención el número de polos magnéticos contenidos en cada grupo de polos magnético puede ser inmediatamente evidente, por ejemplo si cada grupo de polos magnéticos contiene el mismo número de polos magnéticos y los polos magnéticos en cada grupo se desplazan en el mismo modelo. Si el número de polos magnéticos en cada grupo es evidente definiendo entonces arbitrariamente cualquier polo magnético individual como un polo magnético circunferencialmente exterior que está en su posición de referencia, entonces, como consecuencia de esta definición, la naturaleza de todos los otros polos magnéticos se definirá automáticamente. Por ejemplo, si hay ocho polos magnéticos dentro de cada grupo y cada grupo tiene entonces un modelo de desplazamiento idéntico, definiendo cualquier polo magnético individual como polo magnético circunferencialmente exterior que está en su posición de referencia, la naturaleza de todos los otros polos magnéticos se definirá también dependiendo de sus posiciones respecto del polo magnético.

40 Además, como se ha establecido anteriormente, cada máquina eléctrica según esta invención tiene un número de polos magnéticos que están desplazados y pueden tener un número de polos magnéticos que no están desplazados y no son polos magnéticos circunferencialmente exteriores. Estos polos magnéticos "no desplazados" se sitúan en sus posiciones de referencia. La definición de la posición de referencia de cada polo magnético es también bastante arbitrario pero ayuda a la comprensión del diseño de máquina eléctricas según la invención. La posición de referencia de cada polo magnético se puede entender, además, de la siguiente manera. El diseño de cualquier máquina eléctrica según esta invención se puede considerar que se forma tomando el diseño del rotor de una máquina eléctrica convencional que es los polos magnéticos espaciados uniformemente alrededor de su circunferencia y que desplaza circunferencialmente alguno de los polos magnéticos. La posición que cada polo magnético habría ocupado en esta máquina eléctrica convencional es su posición de referencia. Es decir, las posiciones de referencia para una máquina eléctrica según la presente invención están espaciadas uniformemente alrededor de la circunferencia del cuerpo en el cual se forman. Los polos magnéticos que no ocupan sus posiciones de referencia son los polos magnéticos desplazados. De esta manera, los polos magnéticos desplazados, los grupos de polos magnéticos y la posición de referencia de cada polo magnético se pueden definir simplemente.

El paso de cualquier objeto se define con la separación circunferencial angular o lineal de los puntos equivalentes en dos objetos espaciado circunferencialmente adyacentes. Por lo tanto, el paso de ranuras de bobinado se define como la separación circunferencial entre los puntos equivalentes en dos ranuras de bobinado adyacentes. Si una máquina eléctrica tiene ranuras de bobinado radialmente simétricas, el paso lineal de ranuras de bobinado se puede definir como la separación circunferencial entre las líneas centrales de ranura de dos ranuras de bobinado adyacentes medida alrededor de la superficie del cuerpo en el cual se forman. El paso de ranura de bobinado también se puede expresar como un ángulo que, si se expresa en radianes, es igual al paso de ranura de bobinado lineal dividido por el radio del cuerpo en el cual se forman las ranuras. El paso angular de referencia de las ranuras de bobinado, cuando se expresa en grados, es igual a  $360^\circ$  dividido por el número de ranuras de bobinado contenidos en la máquina, y cuando se expresa en radianes es igual  $2\pi$  dividido por el número de ranuras de bobinado.

Las ranuras de bobinado serán preferiblemente cada una idéntica y estarán espaciadas uniformemente. Es decir, su paso efectivo será igual a su paso de referencia. Sin embargo, las máquinas eléctricas que tienen ranuras de bobinado que no son idénticas y/o que no están espaciadas uniformemente también son posibles. La presencia de ranuras de bobinado espaciadas de manera no uniforme afectaría al funcionamiento y al comportamiento de las máquinas eléctricas según esta invención sustancialmente de la misma manera que las máquinas eléctricas convencionales, como sería evidente para el experto en la técnica. Como el posicionamiento de las ranuras de bobinado afecta al funcionamiento de las máquinas según esta invención, esto requiere ser considerado junto con las otras consideraciones de diseño descritas en esta memoria cuando se define el modelo de desplazamiento de los polos magnéticos en una máquina eléctrica según la invención.

Las máquinas eléctricas según esta invención tendrán generalmente un número de ranuras de bobinado que es un múltiplo integral del número de polos magnéticos. Sin embargo, para algunas máquinas según la invención puede ser posible reducir la reluctancia aplicando, además, un número de ranuras de bobinado que no es un múltiplo integral del número de polos magnéticos, es decir, un bobinado de "ranuras fraccionales por polo por fase". Sin embargo, generalmente tales diseños no son preferidos, o ni siquiera posible ya que los modelos de flujo no síncrono que resultan de bobinado de ranuras fraccionales por polo por fase" conducen inevitablemente a pérdidas adicionales en los polos magnéticos, como se ha mencionado anteriormente.

El paso angular de referencia de los polos magnéticos se define como  $360^\circ$  dividido por el número de polos magnéticos en la máquina.

La presencia de polos magnéticos desplazados en las máquinas según la presente invención conduce a una reducción de la reluctancia debido a su efecto sobre la energía potencial de las posiciones relativas del rotor relativo al estator. Específicamente, el desplazamiento de los polos magnéticos reduce la magnitud de la diferencia energía potencial entre las posiciones de energía potencial más alta y más baja del rotor respecto del estator. Esto es debido a que cuando los polos magnéticos no están espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia del rotor, cuando cualquier polo magnético individual está en su posición de energía potencial posible más baja respecto de las ranuras de bobinado cualquier otro polo magnético desplazado de su posición de referencia respecto del polo magnético individual en una cantidad que no es un múltiplo integral del paso de ranura de bobinado se encontrará en una posición de energía potencial más alta respecto de las ranuras de bobinado. Esto significa que la energía potencial global de rotor en esa posición será más alta en comparación con la posición equivalente de un rotor que tiene polos magnéticos uniformemente espaciados a múltiplos integrales del paso de ranura de bobinado. Un argumento equivalente se aplica a las posiciones de energía más altas. Es decir, la presencia de los polos magnéticos desplazados reduce la energía de las posiciones de energía potencia altas del rotor respecto del estator.

La elevación de la energía de las posiciones bajas de energía potencial y la reducción de la energía de las posiciones altas de energía potencial del rotor respecto del estator dan como resultado una reducción en el par de reluctancia. La magnitud de la reducción en el par de reluctancia depende del modelo de desplazamiento específico de los polos magnéticos que se usa en cualquier máquina pero puede ser muy pronunciada. El desplazamiento de los polos magnéticos también da como resultado un aumento en la frecuencia de reluctancia ya que el desplazamiento de algunos de los polos magnéticos da como resultado un aumento en el número de posiciones bajas y altas de energía potencial del rotor respecto del estator.

La efectividad del desplazamiento de los polos magnéticos en la reducción de la reluctancia también está influenciada por un número de factores adicionales que también se deben considerar. Tales factores incluyen la anchura de cada polo magnético respecto del paso de ranura de bobinado y la relación de la abertura de ranura de bobinado respecto del paso de ranura de bobinado. Estos parámetros influyen la alineación del modelo f.m.m de los polos de bobinado con las variaciones de permeancia causadas por las ranuras de bobinado que, a su vez, afecta a la magnitud de la energía de las posiciones altas y bajas de energía potencial. Hay muchas formas de ranuras de bobinado que se usan comúnmente y cuyos efectos son bien conocidos por el experto en la técnica.

Aunque teóricamente, se consigue el mínimo par de reluctancia posible si cada polo magnético se desplaza menos del paso de ranura de bobinado y una cantidad diferente, como en una máquina eléctrica según la patente de los Estados Unidos 4.713.569, por las razones mencionadas anteriormente, este modelo no es normalmente preferido. El desplazamiento de los polos magnéticos definidos en el presente documento es generalmente preferible ya que puede permitir que el estator o el rotor se construyan más fácilmente y además, los modelos de desplazamiento según la presente aplicación pueden ser suficientemente simples para permitir que el comportamiento de la máquina sea modelizado y analizado fácilmente. Si el desplazamiento de los polos magnéticos alrededor del rotor o el estator es demasiado complejo, el análisis por ordenador del comportamiento de la máquina durante el funcionamiento, aunque posible en principio, puede ser excesivamente difícil. Si el comportamiento de una máquina no se puede analizar fácilmente, es difícil modificar el diseño en respuesta a otras consideraciones tales como armónicos de forma de onda de tensión.

Si una máquina eléctrica según la invención está destinada a un uso de alta velocidad, se prefiere que la disposición de polos magnéticos no de cómo resultado que el rotor esté mecánicamente desequilibrado. Esto se puede garantizar teniendo los imanes que forman los polos magnéticos desplazados alrededor de un modelo que tiene al menos una simetría rotativa doble alrededor de su eje. Una manera de conseguir esta simetría es tener un rotor con el mismo número de polos magnéticos en cada grupo y el mismo modelo de desplazamiento de polos magnéticos en cada grupo, como se describe en los modelos de desplazamiento en lo sucesivo.

Los rotores con modelos de desplazamiento rotativamente simétrico de polos magnéticos también son preferidos ya que son generalmente relativamente simples de construir. Además, el desplazamiento de los polos magnéticos de una manera rotativamente simétrica permite que otras consideraciones de diseño, tales como la predecibilidad de comportamiento y la minimización de la generación armónicos, sean satisfechas permitiendo al mismo tiempo una reducción significativa del nivel de reluctancia a conseguir. La importancia de estas otras consideraciones significa que el desplazamiento rotativamente simétrico de los polos magnéticos es a menudo preferido cuando el equilibrio mecánico no es un problema importante en el diseño de una máquina eléctrica según esta invención, por ejemplo en máquinas de baja velocidad.

El desplazamiento de los polos magnéticos en una máquina eléctrica afecta no solamente al par de reluctancia sino también a un número de otras consideraciones de diseño. Por lo tanto, la selección de un modelo de desplazamiento de los polos magnéticos para cualquier máquina eléctrica según esta invención requerirá generalmente un compromiso entre la reducción en el par de reluctancia y estas otras consideraciones de diseño. Ejemplos de tales consideraciones son el contenido de armónicos de la forma de onda f.e.m creada en el bobinado de estator si la máquina es un generador, el contenido de armónicos de la f.m.m creada por el bobinado de estator si la máquina es un motor y el coste y la complejidad de la construcción de la máquina.

Como ejemplo de tales consideraciones de diseño, la siguiente exposición se refiere a los problemas que afectan a la forma de onda f.e.m creada en el bobinado de un generador.

Cuando los polos magnéticos y las ranuras de bobinado de un generador están uniformemente espaciados, como en un generador convencional, el modelo de fuerza f.m.m circunferencial creado por el rotor durante el funcionamiento del generador contiene solamente la frecuencia fundamental de número de polos magnéticos y sus armónicos impares. Sin embargo si las ranuras de bobinado están uniformemente espaciadas y los polos magnéticos no lo son, como es posible en máquinas según la invención, otras frecuencias estarán también presentes. Esto puede causar una distorsión excesiva de la forma de onda de tensión en el bobinado de estator que se produce a partir de frecuencias de subarmónicos y múltiplos de las mismas. Sin embargo, como se mencionará en lo sucesivo, es posible que las fases de bobinado de estator en máquinas eléctricas según la invención puedan estar conectadas de manera que una parte sustancial de las frecuencias no deseadas sean eliminadas o minimizadas.

Las fases de bobinado de estator en una máquina eléctrica se pueden conectar en uno o más circuitos paralelos en los cuales las bobinas están conectadas para de este modo minimizar el contenido de armónicos de la forma de onda f.e.m generada en el bobinado de estator. Por ejemplo, si el modelo de desplazamiento seleccionado de los polos magnéticos de un generador según la invención es tal que hay una pluralidad de grupos de polos magnéticos que contienen cada uno el mismo número de polos magnéticos y que entonces cada uno el mismo modelo de desplazamiento se prefiere entonces que las fases de bobinado de estator se conectan de manera que el número de grupos de polos de bobinado en serie en cada circuito es igual a, o es un múltiplo de, el número de polos magnéticos en cada grupo de polos magnéticos. Esta conexión de las fases de bobinado de estator garantiza que la forma de onda f.e.m. creada en el bobinado de estator contiene solamente la frecuencia fundamental de número de polos y sus armónicos integrales.

Asimismo, ya que los polos magnéticos desplazados pueden conducir a armónicos pares en su modelo f.m.m., se puede preferir el uso de bobinas de estator con un paso del 100%, es decir, bobinas que tienen sus dos lados en ranuras de bobinado separados por el paso angular de referencia de los polos magnéticos, se pula frecuencia

fundamental, ya que garantizar que la forma de onda f.e.m creada en el bobinado de estator no contiene armónicos pares de la frecuencia fundamental de número de polos.

5 El uso de un bobinado de estator trifásico conectado en estrella garantizaría que el tercer armónico de la frecuencia fundamental del número de polos y sus múltiplos integrales (armónicos triples de  $n$ ) no podrían fluir en la corriente de estator y que un generador con un bobinado de estator conectado de esta manera no tuviese armónicos triples de  $n$  en forma de onda de tensión de línea-línea. Este bobinado específico es da solamente a título de ejemplo. El efecto sobre los armónicos f.e.m. de diferentes configuraciones de bobinado y bobinados con diferente número de fases es bien conocido y sería fácilmente entendible por el experto en la técnica.

10 Alternativamente, el establecimiento del paso de bobinas de estator en dos tercios del paso angular de referencia de los polos magnéticos eliminaría también la generación de armónicos de triple  $n$  en la f.e.m de estator, al igual que ciertas formas de bobinados entrelazado (o intercalados), cuyos detalles están disponibles en "Máquinas de corriente alterna" de M.G. SAY y sería conocido por el experto en la técnica. Sin embargo, teniendo bobinas de estator con un paso a los dos tercios del paso angular de referencia de los polos magnéticos conduce de esta manera a una reducción significativa en la potencia nominal de la máquina y las formas de bobinados entrelazados que eliminan los armónicos de triple  $n$  son normalmente inservibles para su aplicación en máquinas de grandes dimensiones con un gran número de polos magnéticos.

15 De esta manera, un generador según esta invención que tiene un modelo de desplazamiento de los polos magnéticos de manera que hay una pluralidad de grupos de polos magnéticos, conteniendo cada grupo el mismo número de polos magnéticos y el mismo modelo de desplazamiento y que tiene bobinas de estator con un paso del 100%, un bobinado de estator trifásico conectado en estrella y bobinas de estator que están conectadas de manera que el número de grupos de polos de bobinado en serie en cada circuito sea igual a, o sea un múltiplo de, el número de polos magnéticos en cada grupo de polos magnéticos, crearía una forma de onda f.e.m. en el bobinado de estator que contiene solamente la frecuencia fundamental de número de polos, y su 5°, 7°, 11°, 13°, etc armónicos cuando está en funcionamiento.

25 Se ha de entender que la exposición anterior del número y conexión de las fases de bobinado de estator y el establecimiento del paso de las bobinas de estator para controlar los armónicos en la forma de onda f.e.m. creada en los bobinados de estator no está destinada a ser exhaustivo y se incluye solamente como ejemplo de las consideraciones implicadas en el diseño específico de un generador según esta invención. Los procedimientos de conexión de las fases de bobinado de estator y el establecimiento de paso de bobinas de estator con el fin de minimizar armónicos no deseados en la forma de onda f.e.m. creada en el bobinado de estator de un generador son bien conocidos y se podrían aplicar fácilmente a esta invención por el experto en la técnica. Además, se ha de entender también que, aunque en la sección anterior se menciona la minimización de armónicos no deseados en la forma de onda f.e.m. creada en el bobinado de estator de un generador según la invención, las consideraciones de diseño para la minimización de los armónicos f.m.m no deseados creados por el bobinado de estator en un motor según la invención son exactamente equivalentes. El experto en la técnica podría inmediatamente aplicar los procedimientos mencionados anteriormente a un motor según la invención con el fin de minimizar los armónicos f.m.m no deseados de una manera similar.

30 Asimismo, aunque la posibilidad de eliminar una parte sustancial del contenido de armónicos no deseados de la forma de onda f.e.m. creada en generadores según la invención y la f.m.m. creada por motores según la invención usando los procedimientos anteriores, puede ser necesario seleccionar un modelo de desplazamiento de polos magnéticos que da como resultado un par de reluctancia superior a mínimo posible para conseguir un contenido de armónicos aceptables. Actualmente, es posible porque se puede conseguir una reducción aceptable de reluctancia por modelos de desplazamiento relativamente simples de polos magnéticos mencionados en lo sucesivo. Estos modelos no reducen el par de reluctancia al mínimo absoluto posible sino que proporcionan una reducción considerable en el par de reluctancia a la par que son también aceptables respecto de otras consideraciones de diseño. Sin embargo, se ha de apreciar que, en algunos casos, se puede, además, requerir reducir el nivel de reluctancia y preferirse entonces otros modelos de desplazamiento. Por ejemplo, los modelos de desplazamiento que contienen mayores grupos de polos o tienen grupos que contienen diferentes números de polos pueden ser preferibles y estas disposiciones son también posibles según la invención.

45 Un conjunto de realizaciones preferidas de un rotor según la invención tiene una pluralidad de grupos de polos magnéticos, incluyendo cada grupo ocho polos magnéticos y teniendo cada uno el mismo modelo de desplazamiento. Este modelo de desplazamiento proporciona una construcción relativamente simple de un rotor, una reducción considerable de reluctancia y se usa preferiblemente conjuntamente con un bobinado de estator con circuitos paralelos de ocho polos o múltiplos de los mismos. Un modelo de desplazamiento preferido para cada grupo de polos magnéticos contenido en el rotor formado de esta manera es como sigue

## ES 2 368 348 T3

Nº de polos magnéticos en cada grupo	1	2	3	4	5	6	7	8
Desplazamiento en el sentido de las agujas del reloj desde una posición de referencia (pasos de ranura de bobinado angular de referencia)	0	1/4	1/2	3/4	3/4	1/2	1/4	0

Un rotor con sus polos magnéticos desplazados según este modelo tendrá un cuarto de sus polos magnéticos que no están desplazados y se sitúan en sus posiciones de referencia. Tres cuartos de los polos magnéticos serán polos magnéticos desplazados y de estos un cuarto serán desplazados desde su posición de referencia en  $\frac{1}{4}$  del paso de ranura de bobinado angular de referencia (es decir, el paso angular de referencia de las ranuras de bobinado), un cuarto será desplazado en  $\frac{1}{2}$  del paso de ranura de bobinado angular de referencia y el cuarto final será desplazado en  $\frac{3}{4}$  del paso de ranura de bobinado angular de referencia. De este modo, este modelo de referencia aumenta el número de posiciones bajas de energía potencial entre el rotor y el estator por un factor de cuatro en comparación con una máquina con polos magnéticos espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia. Esto da como resultado un aumento multiplicado por 4 en la frecuencia de reluctancia. Sin embargo, de manera más importante, este modelo de desplazamiento también da como resultado una reducción significativa en la diferencia en las magnitudes de la atracción entre el rotor y el estator cuando el rotor está en su posición baja y alta de energía potencia respecto del estator. Esto conduce a una reducción sustancial y considerable en la magnitud del par de reluctancia cuando una máquina según la invención con sus polos magnéticos desplazados según el modelo anterior está en funcionamiento.

El análisis de elementos finitos de este modelo de desplazamiento ha mostrado que es particularmente efectivo en máquinas eléctricas que contienen ranuras de bobinado espaciadas uniformemente, tres ranuras de bobinado para cada polo magnético, tienen polos magnéticos que son  $\frac{3}{4}$  de la anchura del polo magnético angular de referencia (es decir, el paso angular de referencia de los polos magnéticos) y tienen aberturas de ranuras de bobinado que tienen una anchura circunferencia que es  $\frac{1}{2}$  del paso de ranura de bobinado angular de referencia.

Este modelo de desplazamiento se puede entender como que cada polo magnético es desplazado desde su posición de referencia nominal en la misma dirección en una cantidad según la siguiente fórmula:

$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

en la que:

$D$  = el desplazamiento angular (en pasos de ranuras de bobinado angulares de referencia) del polo magnético  $p$  de su posición de referencia,

$N$  = el número de polos magnéticos en el grupo de polos magnéticos, y

$p$  = el número de polos magnéticos dentro del grupo de polos magnéticos, contado desde el grupo de polos magnético adyacente más cercano.

(Los valores  $p$  para un grupo de ocho polos magnéticos se puede entender con referencia a la figura 1, que muestra el valor  $p$  para cada polo magnético en un grupo de ocho polos magnéticos en una máquina según la invención).

Esta fórmula se puede aplicar a cualquier grupo de polos magnéticos que contiene al menos cuatro polos magnéticos. Se proporciona un modelo de desplazamiento que consiste en un aumento progresivo en el desplazamiento angular de los polos alrededor de cada grupo, seguido de una reducción progresiva equivalente hasta cero. Se prefiere un aumento progresivo en separación angular seguido de una reducción progresiva ya que puede garantizar una separación adecuada de los polos magnéticos si se combinan con una elección apropiada de anchura de polos magnéticos.

La separación angular requerida entre polos magnéticos adyacente depende del diseño específico de cada máquina eléctrica. Generalmente, la separación requerida está principalmente determinada por la necesidad de controlar la magnitud de la fuga de flujo entre polos adyacentes. Es decir, con el fin de mantener la fuga de flujo entre polos adyacentes dentro de parámetros de diseño aceptables se prefiere normalmente que los polos magnéticos adyacentes estén sustancialmente separados. Sin embargo, se ha de entender que es posible construir máquinas eléctricas según la invención que contienen pares de polos magnéticos adyacentes que están en contacto entre sí o están muy cerca los unos de los otros.



Las fijaciones usadas para fijar los polos magnéticos a la superficie de rotor también pueden afectar su espaciado angular y de este modo la selección del modelo de desplazamiento de los polos magnéticos.

5 Puesto que la separación mínima de los polos magnéticos según la invención viene determinada por las consideraciones anteriores, estas consideraciones también ayudan a determinar el desplazamiento máximo de cualquier polo magnético individual desde su posición de referencia. Aunque el modelo de desplazamiento anterior, definido por la fórmula anterior, requiere que ningún polo magnético sea desplazado en más del paso de ranura de bobinado angular de referencia, se ha de entender que los modelos de desplazamiento que contienen polos magnéticos desplazados en más de esta cantidad son posibles mientras se mantiene la separación angular mínima deseada de los polos magnéticos. Por ejemplo, en máquinas según la invención, teniendo un modelo de  
10 desplazamiento de polos magnéticos que contiene grupos de doce o más polos magnéticos es posible tener polos magnéticos desplazados en más del paso de ranura de bobinado angular de referencia sin reducir el espaciado mínimo entre cualquier de los dos polos magnéticos adyacentes en menos de un cuarto del paso de ranura de bobinado angular de referencia, como se muestra en el siguiente modelo de desplazamiento.

Nº de polos magnéticos en cada grupo	1	2	3	4	5	6
Desplazamiento en el sentido de las agujas del reloj desde una posición de referencia (pasos de ranura de bobinado angular)	0	1/4	1/2	3/4	1	5/4

Nº de polos magnéticos en cada grupo	7	8	9	10	11	12
Desplazamiento en el sentido de las agujas del reloj desde una posición de referencia (pasos de ranura de bobinado angular)	5/4	1	3/4	1/2	1/4	0

15 Alternativamente, se pueden utilizar grupos de polos magnéticos que contienen polos magnéticos distintos de 8 y desplazados según la siguiente ecuación con el fin de satisfacer las consideraciones de diseño de realizaciones específicas de máquinas eléctricas según la invención, como se ha expuesto anteriormente. Por ejemplo, puede ser necesario tener diez polos en cada trayecto paralelo en el bobinado de estator con el fin de tener una configuración de bobina satisfactoria. En este caso, el polo magnético podría ser  
20

Nº de polos magnéticos en cada grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desplazamiento en el sentido de las agujas del reloj desde una posición de referencia (pasos de ranura de bobinado angular)	0	1/5	2/5	3/5	4/5	4/5	3/5	2/5	1/5	0

25 Sin embargo, se ha de entender que los modelos de desplazamiento distintos de los definidos anteriormente son posibles. Específicamente, son también posibles otros modelos de desplazamiento según la invención que también satisfacen los requisitos de configuración de bobina. Asimismo, se ha de entender que los modelos de desplazamiento descritos anteriormente solamente se dan como ejemplos y no están destinados a ser limitativos. Un número casi ilimitado de modelos de desplazamiento son posibles y aunque estos o se consideran explícitamente en esta memoria, cada uno de ellos también puede ser posible en la construcción de máquinas eléctrica según la invención.

30 La efectividad de cualquier modelo de desplazamiento de polos magnéticos dependerá de la construcción específica y el funcionamiento de las máquinas eléctricas específicas en las cuales se incorpora. Se entiende que el modelo de desplazamiento preferido para cualquier máquina dada se puede encontrar usando técnicas convencionales que son bien conocidas por el experto en la técnica, por ejemplo técnicas de elementos finitos. Sin embargo, debido a las consideraciones de diseño expuestas anteriormente se considera habitualmente que generalmente se puede preferir que las máquinas según la invención tengan grupos de polos magnéticos que contienen cada uno el mismo número  
35 de polos magnéticos y que tengan el mismo modelo de desplazamiento de los polos magnéticos dentro del grupo y que el número de grupos de polos de bobinado conectados en cada trayectoria paralela sea bien igual a o sea un múltiplo integral del número de polos magnéticos en cada grupo.

Una máquina eléctrica según la invención también puede incorporar otras características que reducen la reluctancia. Por ejemplo, los polos magnéticos se pueden desviar de tal manera que no sean paralelos al eje del rotor o los polos magnéticos se pueden conformar para reducir la reluctancia.  
40

Las máquinas según la invención pueden ser generadores o motores y se pueden usar para diversos fines. Una realización preferida de la invención es un generador eléctrico de gran diámetro y baja velocidad con 112 polos magnéticos y 336 ranuras como se describe en lo sucesivo.

**Dibujos**

- la figura 1 muestra el valor de  $p$  para cada polo magnético en un grupo de ocho polos magnéticos;
- 5 - la figura 2 es una vista en sección transversal parcial de un generador eléctrico de gran diámetro y baja velocidad de construcción convencional;
- la figura 3 es una vista ampliada de una sección de la figura 2;
- la figura 4 es una vista en sección transversal parcial de un generador eléctrico de gran diámetro y baja velocidad según la invención que es sustancialmente de igual construcción que el generador convencional
- 10 - la figura 5 es una vista esquemática de una sección del generador de la figura 4.

Una construcción convencional típica de un generador eléctrico de gran diámetro y baja velocidad 1 se muestra en las figuras 2 y 3. El rotor 2 tiene 112 polos magnéticos 3 montados en torno a su reborde exterior 4. Los polos magnéticos 3 son equidistantes entre sí de manera que están espaciados uniformemente alrededor de la

15 circunferencia del reborde 4. Es decir, los polos magnéticos 3 están cada uno posicionados en sus posiciones de referencia y el paso de polo magnético angular de referencia es de  $3,21^\circ$  ( $360^\circ/112$ ). El rotor 2 está montado rotativamente dentro de un estator 5 y hay un entrehierro 7 formado entre la superficie interna del estator 5 y la superficie exterior 8 de los polos magnéticos 3. El estator 5 contiene 336 ranuras de bobinado equidistantes 6

20 formadas en su superficie interna es decir, tres ranuras bobinados por polo magnético. Esto equivale a paso de ranura de bobinado angular de referencia  $S_p$  de  $1,07^\circ$ , un tercio del paso de polo magnético. Cada ranura de bobinado 6 contiene una porción de un bobinado de estator (no mostrado) y las ranuras de bobinado están también espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia de la superficie interior de un estator 5. Como se puede observar en la Figura 3, las ranuras de bobinado 6 son aproximadamente la mitad de la anchura del paso de ranura de bobinado  $S_p$  y los polos magnéticos 3 son aproximadamente cuatro quintas partes de la anchura del paso de polo magnético.

25

Como se puede observar en las figuras 4 y 5, un generador eléctrico de gran diámetro y baja velocidad según la invención es de construcción sustancialmente idéntica al generador convencional mostrado en las figuras 2 y 3, con la excepción que los polos magnéticos tienen una anchura angular que es aproximadamente igual  $2,25$  pasos de ranura de bobinado y algunos de los polos magnéticos 3 están desplazados y no están en sus posiciones de

30 referencia. Específicamente, los 112 polos magnéticos 3 están posicionados en 14 grupos idénticos de 8 polos magnéticos y cada polo magnético 3 dentro de cada grupo está angularmente desplazado en la dirección de las agujas del reloj a partir de su posición de referencia en una cantidad según la fórmula:

$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

en la que:

35  $D$  = el desplazamiento angular (en pasos de ranuras de bobinado angulares de referencia) del polo magnético  $p$  de su posición de referencia,

$N$  = el número de polos magnéticos en el grupo de polos magnéticos, y

$p$  = el número de polos magnéticos dentro del grupo de polos magnéticos, contado desde el grupo de polos magnético adyacente más cercano.

40 El polo 3a es el primer polo en su grupo y está por lo tanto posicionado en su posición de referencia. Es decir,  $D = 0$  ya que  $N = 8$  y  $p = 1$ - El polo 3b es el segundo polo en el grupo ( $N = 8$  y  $p = 2$ ) y el polo 3c ( $N = 8$  y  $p = 3$ ) es el tercero puesto que están desplazados de sus posiciones de referencia en un cuarto del paso de ranura de bobinado  $S_p$  y la mitad del paso de ranura de bobinado  $S_p$ , respectivamente.

45 Un grupo completo de polos magnéticos 3 de una máquina eléctrica según la invención se representan en la figura 5. Los dos polos de extremo 3a, 3h están posicionados en sus posiciones de referencia mientras que los seis polos intermedios 3b a 3g están desplazados a la derecha de sus posiciones de referencia en cantidades variables. Los polos 3b y 3g están desplazados en un cuarto del paso de ranura de bobinado  $S_p$ , los polos 3c y 3f en la mita del paso de ranura de bobinado  $S_p$  y los polos 3d y 3e en tres cuartos del paso de ranura de bobinado  $S_p$ .

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Máquina eléctrica (1) que incluye un primer cuerpo (5) que tiene una de una pluralidad de ranuras de bobinado circunferencialmente espaciadas (6) y una pluralidad de polos magnéticos espaciados circunferencialmente formados en su superficie radialmente interior, y un segundo cuerpo (2) que se encuentra dentro del primer cuerpo (5) y que tiene la otra de la pluralidad de ranuras de bobinado circunferencialmente espaciadas y la pluralidad de polos magnéticos circunferencialmente espaciados (3) formados en su superficie radialmente exterior, siendo uno del primer cuerpo y el segundo cuerpo un rotor montado de forma giratoria y siendo el otro del primer cuerpo y el segundo cuerpo un estator montado fijamente, teniendo las ranuras de bobinado (6) un paso de referencia angular que es igual a 360° dividido por el número de ranuras de bobinado en la máquina eléctrica (1)
- 5
- 10 comprendiendo los polos magnéticos (3) al menos un primer grupo que incluye al menos cuatro polos magnéticos circunferencialmente adyacentes (3a a 3h) y un segundo grupo que incluye al menos cuatro polos magnéticos circunferencialmente adyacentes (3a a 3h), en el cual el grupo primero y el segundo grupo incluyen el mismo número de polos magnéticos y tienen el mismo modelo de desplazamiento;
- 15 teniendo cada polo magnético (3) una posición de referencia en el cual las posiciones de referencia están espaciadas uniformemente alrededor de la circunferencia del cuerpo en el que se forman los polos magnéticos;

**caracterizado porque** se determina el modelo de desplazamiento de los polos magnéticos en el primer y segundo grupos según la fórmula:

$$D = \frac{2(p-1)}{N}$$

en la que:

- 20  $D$  = el desplazamiento angular (en pasos de ranuras de bobinado angulares de referencia) del polo magnético  $p$  de su posición de referencia,
- $N$  = el número de polos magnéticos en el primer y segundo grupo, y
- $p$  = el número de polos magnéticos dentro del primer y segundo grupo, contado desde el grupo de polos magnético adyacente más cercano.
- 25 2.- Máquina eléctrica según la reivindicación 1, en el cual el estator (5) tiene las ranuras de bobinado (6) y el rotor (2) tiene los polos magnéticos (3).
- 3.- Máquina eléctrica según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual el primer cuerpo (5) es el estator y el segundo cuerpo (2) es el rotor.
- 4.- Máquina eléctrica según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual el primer cuerpo es el rotor y el segundo cuerpo es el estator.
- 30 5.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual ningún polo magnético (3) está desplazado de su posición de referencia en más del paso angular de referencia de las ranuras de bobinado.
- 6.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual no hay dos polos (3) magnéticos en contacto entre si, o incidiendo entre si.
- 35 7.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual los polos magnéticos (3) están desplazados de tal manera que su posicionamiento circunferencial tiene al menos una simetría giratoria doble alrededor del eje de rotación del rotor (2).
- 8.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el primer grupo incluye un número par de polos magnéticos (3) y el segundo grupo incluye un número par de polos magnéticos (3).
- 40 9.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el primer grupo incluye ocho polos magnéticos (3a a 3h) y el segundo grupo contiene ocho polos magnéticos (3a a 3h).
- 10.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual las ranuras de bobinado (6) están espaciadas circunferencialmente de manera uniforme.

- 11.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, bobinas de bobinado que tienen un paso angular igual a un paso angular de referencia de los polos magnéticos.
- 5 12.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende, además, bobinas de bobinado que tienen un paso angular igual a dos terceras partes de un paso angular de referencia de los polos magnéticos.
- 13.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el número de ranuras de bobinado (6) es igual a un múltiplo integral del producto del número de polos magnéticos (3) y el número de fases de bobinado.
- 10 14.- Máquina eléctrica según la reivindicación 13, en el cual hay tres veces tantas ranuras de bobinado (6) que polos magnéticos (3).
- 15.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones, en el cual el paso angular de cada uno de los imanes que forman los polos magnéticos (3) es sustancialmente 2,25 veces el paso angular de referencia de las ranuras de bobinado.
- 15 16.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones, en el cual la anchura de cada ranura de bobinado (6) en un entrehierro (7) entre el rotor (2) y el estator (5) es sustancialmente igual a la mitad del paso angular de referencia de las ranuras de bobinado.
- 17.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual cada polo magnético (3) es sustancialmente paralelo al eje de rotación del rotor (2).
- 20 18.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual cada polo magnético (3) está desviado respecto del eje de rotación del rotor (2).
- 19.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones, en el cual se incorporan cuñas de ranuras magnéticas en las ranuras de bobinado (6).
- 25 20.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la superficie exterior (8) de cada polo magnético (3) está conformado de manera que un entrehierro (7) entre el rotor (2) y el estator (5) no es uniforme.
- 21.- Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual un bobinado del estator de la máquina eléctrica define fase de bobinado que están conectadas en uno o más circuitos paralelos, de manera que el número de grupos de polos de bobinado en serie en cada circuito es igual a, o es un múltiplo integral de, el número de polos magnéticos en cada uno del primer y el segundo grupos.

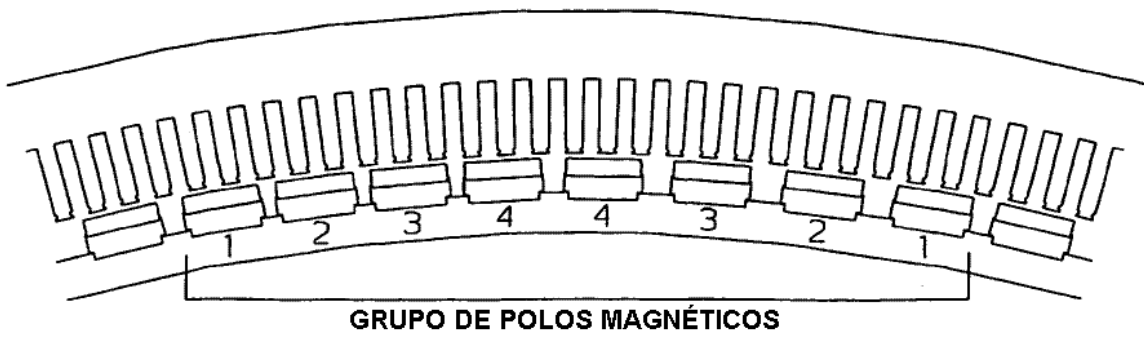


Figura 1

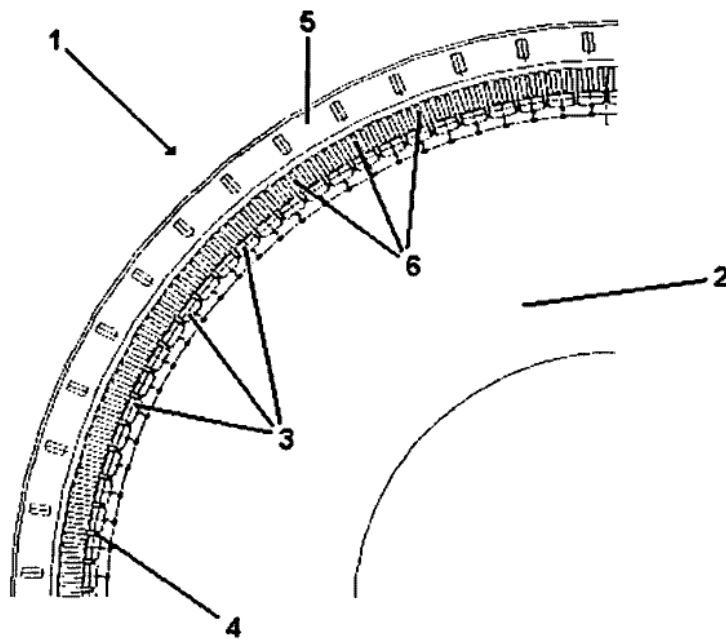


Figura 2



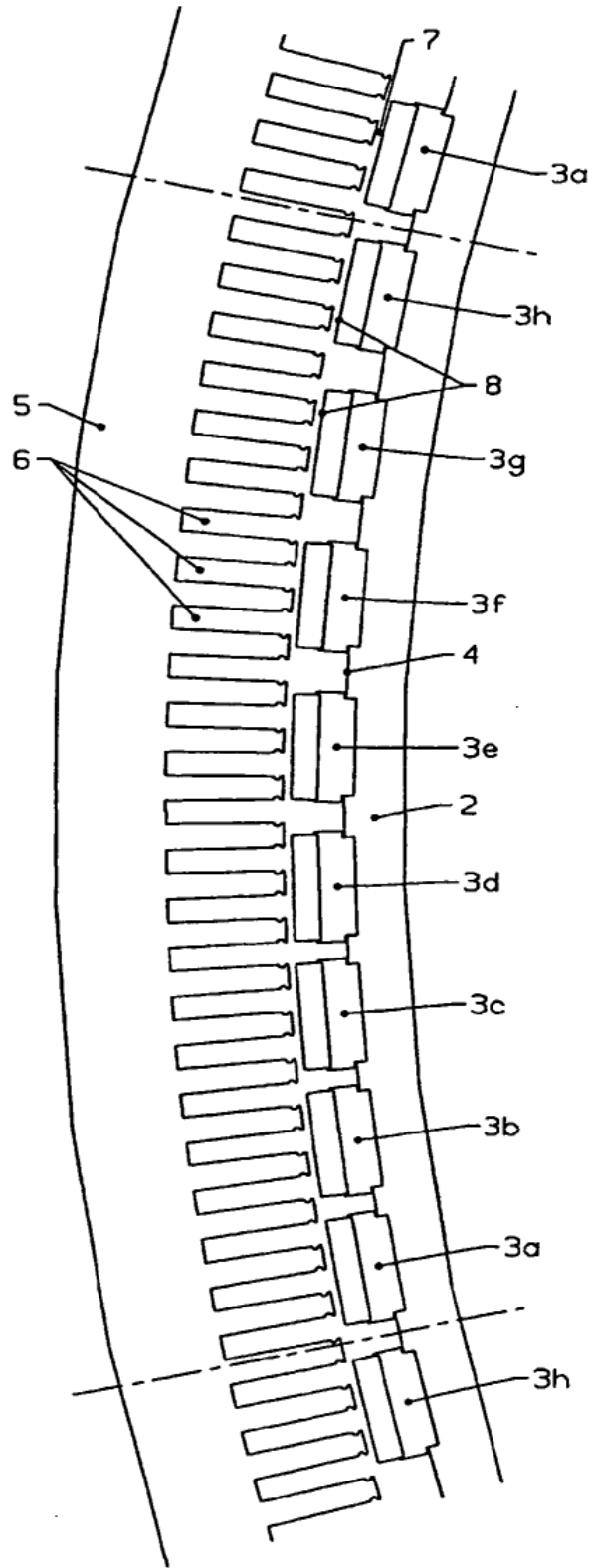


Figura 5