

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 544**

51 Int. Cl.:

**H02K 3/28** (2006.01)

**H02K 7/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2011 PCT/DK2011/050419**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.05.2012 WO12059111**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2011 E 11788025 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 2636127**

54 Título: **Generador segmentado de accionamiento directo**

30 Prioridad:

**14.12.2010 DK 201070544**

**14.12.2010 DK 201070543**

**05.11.2010 US 410590 P**

**14.12.2010 DK 201070545**

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

**16.01.2019**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**NEUMANN, RAPHAEL**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 696 544 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Generador segmentado de accionamiento directo

### 5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un generador de accionamiento directo y a un segmento de un generador de accionamiento directo.

### 10 **Antecedentes de la invención**

Los generadores de acuerdo con los sistemas de la técnica anterior normalmente comprenden uno de los siguientes tipos de generadores:

- 15 1. Generadores síncronos de devanado de campo convencionales
2. Generadores de inducción
- 20 3. Generadores de imán permanente

Los principales criterios utilizados para seleccionar un generador para una aplicación específica generalmente implican decisiones sobre:

- 25 1. Densidad de par
2. Factor de energía
3. Eficiencia
- 30 4. Peso
5. Costo

Los tipos de generadores mencionados anteriormente se conectan típicamente a un conjunto de palas de rotor a través de un sistema de transmisión que comprende una caja de engranajes.

Puede verse como un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar una disposición de accionamiento directo simple y sólida y evitar problemas tradicionales, tales como problemas de desajuste, en cajas de engranajes de turbinas eólicas. Máquinas eléctricas de la técnica anterior con estatores segmentados se describen en los documentos US2010/0117465 A1 y EP2211443 A1.

Podemos encontrar técnica anterior adicional relevante según el artículo 54 (3) EPC en el documento EP2421123 A2.

### 45 **Descripción de la invención**

El estator de una máquina eléctrica consiste normalmente en un conjunto de devanados eléctricos en los que el flujo magnético induce una tensión eléctrica. Los devanados se encuentran en la mayoría de las máquinas insertados en ranuras en un núcleo de plancha, también conocido como yugo de estator. En una máquina tradicional de alta velocidad, tal como una máquina eléctrica de polos, alimentada con un suministro de 50 o 60 Hz, el yugo de estator está hecho de una pila de láminas de laminación apiladas en la dirección axial, rodeando cada una de las piezas de laminación todo el rotor. Las máquinas de baja velocidad tienen un número elevado de polos y un gran diámetro de varios metros. Para la máquina de baja velocidad es prácticamente imposible hacer una sola pieza de laminación, por lo que el estator se segmenta en una pluralidad de segmentos de estator.

La pluralidad de segmentos de estator puede formar únicamente una fracción de una estructura poligonal de estator. Por tanto, los segmentos de estator pueden disponerse para cubrir, por ejemplo, 30, 60, 90, 120 grados (o cualquier otro ángulo) lo largo de la dirección circunferencial del estator. Los segmentos de estator pueden estar dispuestos en un grupo o en varios grupos, estando dispuestos opcionalmente tales grupos de segmentos de estator a lo largo de la dirección circunferencial del estator.

Alternativamente, la pluralidad de segmentos de estator puede formar una estructura poligonal de estator de 360 grados entera/completa.

Los segmentos de estator pueden tener, en un plano radial del generador de energía, un perfil de sección transversal esencialmente rectangular.

- 5 Cada segmento de estator está hecho preferiblemente de una pila de laminación de láminas metálicas delgadas. Cada lámina forma una imagen bidimensional de un segmento de estator, la tercera dimensión está formada por el apilamiento de las láminas de laminación. Las láminas se forman de manera que haya ranuras para recibir una serie de devanados de estator, también se puede decir que las ranuras forman una serie de dientes de estator. El segmento de estator tiene entonces un primer lado formado por la primera pieza de lámina de laminación, y un segundo lado formado por la última pieza de lámina de laminación. Los otros cuatro lados comprenden los lados principales de la lámina de laminación y, por tanto, son: un lado frontal (orientado hacia el entrehierro), un lado posterior opuesto al entrehierro que debe estar orientado hacia el rotor de la máquina y los dos lados restantes que serán adyacentes al segmento adyacente.
- 10 Cada segmento de estator puede comprender una disposición de fijación en forma de cola de milano para asegurar cada segmento de estator a una estructura de armazón. La forma de cola de milano puede estar dispuesta en el lado posterior del segmento. Un material no magnético puede colocarse entre las disposiciones de fijación en forma de cola de milano y la estructura de armazón para reducir la dispersión de flujo entre los segmentos de estator y la estructura de armazón. El material no magnético puede comprender una cubierta de acero inoxidable colocada entre las disposiciones de fijación en forma de cola de milano y la estructura de armazón.
- 15 Pueden existir espacios en forma de V entre los segmentos de estator contiguos cuando están alineados en la estructura poligonal. Un material ferromagnético puede estar en los espacios en forma de V entre segmentos de estator contiguos, mejorando así la eficiencia del generador de energía. Además, se pueden colocar medios de refrigeración de estator adecuados dentro de los espacios en forma de V.
- 20 Cada segmento de estator puede comprender laminados de acero, estando dispuestos dichos laminados de acero en una dirección tangencial a la dirección circunferencial del estator.
- 25 La invención se refiere a una máquina eléctrica que comprende una pluralidad de segmentos de estator como se define en la reivindicación 1. La invención se refiere también a un método para montar una máquina eléctrica como se define en la reivindicación 7. Otras realizaciones de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes 2 a 6 y 8.
- 30 En un primer aspecto, la presente invención se refiere a una máquina eléctrica que comprende una pluralidad de segmentos de estator, teniendo cada segmento una pluralidad de devanados de fase eléctrica incorporados en ranuras de estator en una secuencia de fase, en donde la fase de la primera ranura de un segmento es diferente de la fase de la primera ranura de un segmento adyacente.
- 35 Una ventaja de este aspecto es que la tensión inducida en las fases se vuelve más uniforme y con menor contenido de armónicos, y los efectos de dispersión de flujo en el extremo de los segmentos también se reducen.
- 40 Según una realización de la invención, se describe una máquina eléctrica en la que la secuencia de los devanados de fase es tal que los devanados de fase forman una pluralidad de fases eléctricas distribuidas igualmente con el mismo ángulo de fase entre las fases eléctricas.
- 45 Una ventaja de este aspecto es que la imagen general de las tensiones de las fases eléctricas provoca un contenido de armónicos incluso más bajo.
- Según una realización de la invención, cada uno de los devanados de fase en cada segmento está conectado en serie con el devanado de fase de una fase eléctrica correspondiente en el segmento adyacente.
- 50 Una ventaja de este aspecto es que la fase eléctrica obtiene una contribución de tensión de más segmentos. La contribución de cada segmento puede no ser la misma, pero cuando se suman, las fases eléctricas se equilibran.
- De acuerdo con la invención, aquí el número de devanados conectados en serie es igual al número de devanados de fase en cada segmento N veces, en donde N es un número entero.
- 55 Una ventaja de este aspecto es que la fase eléctrica obtiene una contribución de tensión de más segmentos. La contribución de cada segmento puede no ser la misma, pero cuando se suman, las fases eléctricas se equilibran y, con esta realización, cada fase eléctrica recibe contribuciones de cada ubicación en el segmento y, por tanto, las tensiones se equilibran en la medida de lo posible.
- 60 De acuerdo con una realización de la invención, la longitud de al menos uno de los devanados en un segmento difiere de la longitud de los otros devanados.
- Una ventaja de este aspecto es que no es crucial que uno de los devanados sea más largo que los otros y, por tanto, el diseño de los devanados no tiene que ser un diseño en el que cada devanado tenga la misma longitud.
- 65 De acuerdo con una realización de la invención, la máquina eléctrica tiene P segmentos que forman un primer

conjunto de fases eléctricas y Q segmentos que forman un segundo conjunto de fases eléctricas, las fases del primer conjunto no están alineadas con las fases del segundo conjunto de fases eléctricas, en donde P y Q son números enteros.

5 Una ventaja de esta realización es que la máquina puede funcionar con dos conjuntos de fases eléctricas, cuando ambos conjuntos funcionan, generan menos armónicos debido al mayor número de fases.

De acuerdo con una realización de la invención, la máquina eléctrica tiene devanados que son un devanado concentrado bobinado alrededor de un solo diente de estator del segmento.

10 Una ventaja de esta realización es que el factor de llenado de ranuras podría ser mayor que para otras configuraciones de devanado y que los mismos devanados son más fáciles de fabricar e insertar.

15 En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un método de montaje de una máquina eléctrica que comprende una pluralidad de segmentos de estator adyacentes, comprendiendo cada segmento un yugo con una pluralidad de ranuras de estator, comprendiendo dicho método las etapas de:

20 - en un primer segmento, incorporar una pluralidad de devanados de fase eléctrica en las ranuras de estator en una secuencia de fase;

- en un segmento adyacente, incorporar una pluralidad de devanados de fase eléctrica en las ranuras de estator en una secuencia de fase,

25 - conectar en serie los devanados de fase en el primer segmento con el devanado de fase de una fase eléctrica correspondiente del segmento adyacente de modo que la fase de la primera ranura de un segmento sea diferente de la fase de la primera ranura de un segmento adyacente.

Las ventajas del segundo aspecto son equivalentes a las ventajas del primer aspecto de la presente invención.

30 Muchas de las características asociadas se comprenderán más fácilmente a medida que se vayan entendiendo mejor con referencia a la siguiente descripción detallada examinada con relación a los dibujos adjuntos.

35 La presente invención se explicará ahora con más detalle. Aunque la invención admite varias modificaciones y formas alternativas, se describen realizaciones específicas a modo de ejemplo. Debe entenderse, sin embargo, que no se pretende limitar la invención a las formas particulares que se describen. Más bien, la invención debe cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que estén dentro del ámbito de aplicación de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

#### 40 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se explicará más detalladamente con referencia a las figuras adjuntas, en las que

La figura 1 muestra un ejemplo con segmentos de estator cónicos,

45 La figura 2 muestra un ejemplo con segmentos de estator rectangulares,

La figura 3 muestra segmentos de estator con forma rectangular,

50 La figura 4 muestra espacios en forma de V 6 entre segmentos de estator,

La figura 5 muestra una disposición de estator parcial,

La figura 6 muestra una disposición de estator parcial sin espacios en forma de V,

55 La figura 7 muestra un segmento de estator cónico,

La figura 8 muestra segmentos de estator dispuestos de forma adyacente con espacios en V abiertos,

La figura 9 muestra segmentos de estator dispuestos de forma adyacente con espacios en V llenos,

60 La figura 10 muestra un alternador de inductor de tipo Dash (técnica anterior),

La figura 11 muestra un generador de tipo Dash de flujo axial de estator doble/rotor simple,

65 La figura 12 muestra una configuración de flujo radial de estator doble/rotor simple,

- La figura 13 muestra una máquina en forma de arco,
- La figura 14 muestra una disposición de estator doble/rotor doble en una configuración axial,
- 5 La figura 15 muestra una máquina de Lorenz de estator simple/rotor simple con excitación de imán permanente.
- La figura 16 muestra una configuración de estator doble/rotor simple con excitación de imán permanente,
- La figura 17 muestra un estator doble/rotor simple con bobinas excitadas con corriente continua en el estator,
- 10 La figura 18 muestra un devanado de campo y de fase concentrado,
- La figura 19 muestra un motor síncrono híbrido lineal,
- 15 La figura 20 muestra un estator de doble cara de un motor síncrono híbrido lineal.
- La figura 21 muestra un motor síncrono híbrido de flujo radial cilíndrico.
- La figura 22 muestra un generador síncrono híbrido de flujo axial de doble cara,
- 20 La figura 23 muestra un devanado de fase de niveles múltiples de una sola capa y un devanado de anillo gramme para excitación de CC,
- La figura 24 muestra un devanado de fase tolerante a fallas,
- 25 La figura 25 muestra ranuras del mismo tamaño para el devanado de fase y el devanado de campo excitado con CC.
- La figura 26 muestra una disposición de núcleo E modificado con bobinas de campo profundo,
- 30 La figura 27 muestra medio modelo de un estator, un rotor y una disposición de imán permanente (modelo de 4 polos),
- La figura 28 muestra una máquina síncrona híbrida con espacios en imanes,
- 35 La figura 29 muestra una máquina síncrona híbrida con imanes incorporados en las ranuras 2,
- La figura 30 muestra una máquina síncrona híbrida en forma de polígono,
- 40 La figura 31 muestra una reducción de ondulación de par,
- La figura 32 ilustra ondulaciones de fuerza para varios casos,
- 45 La figura 33 muestra un segmento de una máquina con devanado de CC insertado en las ranuras 2 que se puede usar para una operación de cojinete magnético.
- La figura 34 muestra un segmento de una máquina con devanado de CC donde la dirección de la corriente CC en el entrehierro controla el devanado para una posición de rotor excéntrico dada
- 50 La figura 35 muestra una realización de la invención reivindicada con un segmento de una máquina con devanados de una sola capa.
- La figura 36 muestra dos segmentos adyacentes de una máquina con devanados de una sola capa, y donde el diente extremo de cada segmento tiene la mitad de anchura.
- 55 La figura 37 muestra un segmento de una máquina con una configuración de devanados de doble capa, con devanados imbricados.
- La figura 38 muestra un segmento y parte de segmentos adyacentes de una máquina con una configuración de devanados de doble capa, con devanados imbricados, con el último devanado alrededor del diente extremo.
- 60 La figura 39 superior: muestra un segmento y parte de segmentos adyacentes de una máquina con una configuración de devanados de doble capa, con devanados imbricados, con el último devanado alrededor del diente extremo.
- 65 La figura 39 inferior muestra un segmento y parte de segmentos adyacentes de una máquina con una

configuración de devanados de doble capa, con devanados imbricados.

La figura 40 muestra un segmento y parte de segmentos adyacentes de una máquina con una configuración de devanados concentrados de una sola capa.

5 La figura 41 muestra la trayectoria de devanado de un segmento de una máquina, con gran pérdida de devanado frontal y una pluralidad de imbricaciones de devanado triple.

10 La figura 42 muestra la trayectoria de devanado de un segmento de una máquina, con gran pérdida de devanado frontal y una pluralidad de imbricaciones de devanado triple.

La figura 43 muestra la trayectoria de devanado de un segmento de una máquina con una configuración de devanado óptima, con poca pérdida de devanado frontal.

15 La figura 44 muestra la trayectoria de devanado con giros de un segmento de una máquina, con gran pérdida de devanado frontal.

20 La figura 45 muestra la trayectoria de devanado con giros de un segmento de una máquina, con poca pérdida de devanado frontal.

### Descripción detallada de la invención

#### Máquina en forma de polígono

25 La presente descripción se refiere a una nueva configuración de un estator para una máquina de flujo axial. Esta nueva configuración de máquina se puede producir más barata en comparación con las configuraciones de máquina tradicionales.

30 Con referencia ahora a la figura 1, en las máquinas de flujo axial, la dirección de laminación debe ser en la dirección tangencial. De ahí que la laminación deba tener una curvatura. Debido a que la circunferencia de toda la máquina aumenta al aumentar el radio, cada capa de laminación debe ser un poco más grande. Por tanto, las posiciones de todas las ranuras 2 en cada capa de laminación individual deben ajustarse dependiendo del número de capas de laminación. La fabricación de un estator de máquina de flujo axial con ranuras 2 es, por tanto, un proceso engorroso debido a la dirección de la laminación.

35 La presente invención se refiere a una disposición de estator en la que se fabrica un bloque rectangular utilizando laminados de acero delgados 4 similares a núcleos E de transformador o procesos de laminación de máquina lineal. En la figura 3 se muestra un bloque de yugo de estator típico. La dirección de laminación 4 se muestra en la figura 2.

40 Si un diámetro medio muy grande ( $> 3$  m) para la máquina de flujo axial comprende un alto número de ranuras 2 ( $> 72$ ) y si la longitud de la plancha en comparación con el diámetro medio es pequeña ( $< 0,5$  m), la fabricación puede simplificarse mucho sin desventajas significativas.

45 El estator debe dividirse en muchos segmentos 3. Cada segmento 3 contiene un número reducido de ranuras 2 (por ejemplo, 6 ranuras). Cada segmento 3 tiene la misma forma y se puede fabricar apilando una sola forma de laminación. La longitud del diente 24, 25 es constante. Todos estos segmentos 3 deben colocarse en una estructura poligonal. Finalmente, se puede montar un estator 1 que parece bastante similar al convencional. La única diferencia son los pequeños espacios en V 6 (distancia de espacio  $< 2$  mm).

50 La gran ventaja es que la cantidad de partes diferentes es muy escasa en comparación con los diseños de estator convencionales.

El nuevo diseño del estator se aplica a máquinas de flujo axial con diámetros grandes y una longitud de hierro relativamente pequeña.

55 La figura 4 y la figura 5 muestran disposiciones de topología de flujo axial con bloques rectangulares. Esta disposición da como resultado una pluralidad de espacios en V 6 entre segmentos adyacentes 3b y una pérdida de producción de energía.

60 Se ha encontrado que el llenado de espacios en V 6 con material ferromagnético 7 ayuda a aumentar la energía producida en un 20 %. Al tener un pequeño entrehierro constante (radio interior a exterior), por ejemplo, de 1 a 2 mm entre los segmentos 3, no disminuye significativamente la energía de la máquina. Una disposición típica sin un espacio en V 6 se muestra en la figura 6.

65 La figura 7 muestra una pila de laminación que ayuda a mantener igual un entrehierro entre los segmentos 3. Aquí los extremos de cada segmento 3 se han hecho cónicos 8b mediante la eliminación de un triángulo de la pila de

laminación 4. Este proceso mecanizado debe garantizar que no causará demasiados cortocircuitos para corrientes parásitas.

5 Dependiendo de la configuración de devanado elegida, estos espacios en V 6, *cf.* figura 8, disminuyen la densidad de flujo en el entrehierro. En tal caso, el espacio 6 debe llenarse, *cf.* figura 9, con algo de material de hierro 7 para cerrar el circuito magnético. El material llenado 7 puede ser de un tipo de metal sinterizado con alta permeabilidad.

Los estudios han demostrado que llenar el triángulo proporciona hasta un 20 % más de energía producida.

10 La reducción de densidad de fuerza utilizando la forma poligonal de la máquina es significativa. Esto se debe a lo siguiente:

1. La introducción de espacios 6 en la plancha de soporte que interrumpe el patrón de flujo normal,

15 2. La distorsión del paso de ranura (distancia de ranura a ranura) que da lugar a una secuencia de fase desigual en la máquina que empeora en el radio exterior.

20 El artículo 2 es inherente al uso de segmentos de ranuras paralelas/ dientes paralelos 3 para una máquina de flujo axial, y solo se puede reducir utilizando la menor longitud radial posible. Sin embargo, el artículo 1 puede reducirse si los segmentos 3 se fabrican a partir de laminados con la longitud proporcional al radio exterior, y luego se les da la forma cónica adecuada 8b en los lados después del montaje en un segmento 3, posiblemente mediante el uso de chorro abrasivo de agua. Esto permitirá que los segmentos 3 se apilen como una serie de segmentos sin espacios indebidos 6 en la plancha de soporte, *cf.* Figura 1.

25 Está claro que la interrupción del patrón de flujo normal en la plancha de soporte debido a la introducción de un espacio entre segmentos 3 es responsable de la mayor parte de la pérdida de rendimiento de la versión poligonal de esta máquina.

30 En todos estos modelos, no se ha tenido en cuenta el material de laminación de estator que se necesitará para soportar el estator dentro de la estructura. Debido a la altísima carga de flujo del material, no será posible aprovecharse de la conveniencia habitual de taladrar orificios en la plancha de soporte con fines de montaje ya que esto reducirá el rendimiento de la máquina. En su lugar, se necesitará material adicional detrás de la plancha de soporte existente, que tenga una forma adecuada con fines de soporte. Este puede adoptar la forma de una cola de milano para permitir que las laminaciones encajen en una estructura de soporte, o de una serie de pestañas con orificios, que pueden retirarse selectivamente para proporcionar soporte a lo largo de la dirección radial con las barras pasantes acopladas en los manguitos de la estructura de soporte. Alternativamente, la profundidad de la plancha de soporte puede incrementarse mediante el diámetro de cualquiera de los orificios perforados: pero este método no proporciona soporte en el centro de la pila sin estructuras internas adicionales.

40 Las pilas de laminación con una cola de milano en la parte posterior con fines de conexión pueden tener, para evitar la dispersión de flujo, un entrehierro entre la estructura de soporte y la cola de milano correspondiente, el entrehierro se puede llenar con material no magnético, plástico, acero inoxidable, etc. para limitar la dispersión de flujo.

El hueco del espacio en V 6 también se puede usar para acercar un poco de líquido refrigerante al estator.

45 En caso de que sea necesario un cojinete de entrehierro para controlar el entrehierro, el espacio en V 6 se podría usar para colocar un superconductor en su interior. En caso de que el superconductor se vuelva superconductor, se producirá el efecto Meisner entre los imanes y el superconductor y actuará como un cojinete de entrehierro. Debido a la dirección de magnetización alterna de los imanes, pueden producirse algunas pérdidas en el superconductor que deben eliminarse. El tamaño del espacio en V probablemente deba aumentarse para tener suficiente espacio para el superconductor, incluido el aislamiento térmico.

50 El concepto de la máquina de flujo axial poligonal no se limita a los tipos de máquinas que se describen en esta aplicación. También sería ventajoso aplicar el concepto de polígono a una máquina eléctrica de flujo axial con imán permanente (PM) tradicional.

El sistema de transmisión eólica de accionamiento directo (sin engranajes) para el cual es adecuado el diseño de generador poligonal antes mencionado, a menudo se diseña en una máquina de tipo de flujo axial o de flujo radial.

60 La máquina eléctrica o generador que se describirá a continuación también se podrá hacer en forma de polígono si es un diseño con flujo axial. Por otro lado, también es posible hacerlo con un diseño de flujo radial, por tanto, sin el diseño de polígono.

65 A continuación, se presentan tres conceptos diferentes de generadores eléctricos para un generador de turbina eólica, siendo común en todos ellos que tienen un rotor que no consiste en material magnético permanente y que no tiene ningún devanado de rotor, conocido como generador sincrónico o de inducción. El flujo magnético en las

máquinas se produce a partir de varias fuentes en el estator.

5 El rotor de las tres máquinas diferentes se puede fabricar con una combinación de material magnético y material no magnético para generar resistencia en el campo magnético. Alternativamente, el rotor puede ser un disco de metal (puede ser material magnético) con material magnético que sobresale. Ninguna de ellas tiene materiales magnéticos permanentes en el rotor.

10 Aunque todos se muestran principalmente en una realización de tipo de flujo axial, muchas de las ventajas también se aplicarían a una máquina de tipo de flujo radial y, por tanto, muchos aspectos de la aplicación no deben limitarse a un generador eléctrico de flujo axial.

Se hará hincapié en generadores de tipo sin imán permanente que se pueden emplear en generadores eólicos que tengan diámetros mayores de 5 m y menores de 30 m, aunque no se limitan a ese rango.

15 Generador eléctrico Dash

Dash propuso un generador de tipo inductor que se puede adoptar como un generador en generadores de turbina eólica.

20 El diagrama esquemático del concepto Dash se muestra en la figura 10. Es una máquina de tipo cilíndrico de flujo radial.

25 El estator consta de ranuras simétricas 2 en las que están colocados devanados de fase y de campo, como se muestra en la figura 10. Los devanados de campo están etiquetados como 1', 2', 3', 4', 5' y 6' y los devanados de fase están etiquetados como 1, 2, 3, 4, 5, 6.

El rotor consta de varios dientes hechos de material ferromagnético. Cuando el rotor gira en el campo magnético establecido por el devanado del campo, el campo magnético se modula y se induce tensión en el estator.

30 Las principales ventajas de los generadores tipo Dash son:

1. Una estructura de rotor simple que es adecuada para generadores de gran diámetro.
- 35 2. El estator se puede segmentar en muchas partes que ayudan a realizar un concepto de generador de tipo modular.
3. El estator puede tener 360 grados mecánicos y puede tener forma de arco con N grados mecánicos
- 40 4. Los segmentos defectuosos se pueden desactivar fácilmente desconectando el devanado de campo correspondiente, o los segmentos defectuosos 3 pueden retirarse físicamente mientras el generador está en funcionamiento
5. Muy adecuados para aplicaciones en alta mar/en tierra como libres de mantenimiento
- 45 6. Esta máquina puede configurarse como máquina de flujo axial o radial.
7. La máquina se puede diseñar con múltiples características de entrehierro o de varias pilas para añadir niveles de energía producida.
- 50 8. Son muy adecuados para una máquina de tipo devanado de fase concentrado 23a, 23b, 23c.

Combinación de dientes de estator/rotor:

55 La técnica anterior ha demostrado el principio de funcionamiento utilizando 12 dientes de estator y 7 dientes de rotor. Sin embargo, el trabajo de optimización de los inventores demuestra que los generadores con 12 dientes de estator y 5 dientes de rotor desarrollan una densidad de fuerza aproximadamente 36 % mayor en comparación con la combinación 12/7 de la técnica anterior.

60 En la figura 11 se muestra un generador típico de tipo Dash de flujo axial de estator doble/rotor simple, mientras que la figura 12 muestra una configuración de estator doble/estator simple de flujo radial.

65 Un generador en forma de arco típico se muestra en la figura 13. Las ventajas de esta máquina de tipo arco son que el estator puede no tener que rodear el rotor los 360 grados, lo que significa que un diámetro de rotor puede adaptarse a varios rangos de energía, dependiendo del número segmentos de estator 3 fijados. Los segmentos de estator 3 se pueden ubicar en un grupo o en dos o más grupos, preferiblemente con un grupo de segmentos de estator 3 en la parte inferior y uno en la parte superior del generador.

Generador eléctrico de Lorentz

5 Para diámetros grandes (> 5 m) se puede utilizar el generador de Lorentz. El rotor consiste en bloques de acero ferromagnético seguidos de bloques magnéticos, mientras que el estator consiste en devanados insertados en ranuras 2 e imanes permanentes en el estator para la excitación.

El imán permanente puede reemplazarse por devanados de corriente CC que pueden colocarse en las ranuras 2.

10 Esta máquina puede configurarse como una configuración de flujo axial o radial.

a) Flujo axial:

1. Estator de doble cara/rotor simple

15 2. Estator simple/rotor doble

b) Flujo radial:

1. Estator de doble cara/rotor simple

20 2. Estator simple/rotor doble.

La máquina de Lorentz puede realizarse con

25 1. Estator laminado completo (360 grados) o sector de n grados

2. N número de estatores segmentados para 360 grados o n grados

Estator doble de flujo axial - Disposición de rotor doble:

30 Al concepto anterior, también se puede incorporar el efecto de cojinete magnético si la configuración magnética establecida por el estator 1 y el estator 2 se vincula al rotor 1 y al rotor 2, respectivamente.

35 Las posibles configuraciones de estator/rotor se muestran en las siguientes figuras, en las que la figura 14 muestra una disposición de estator doble/rotor doble en una configuración axial, la figura 15 muestra una máquina de Lorentz de estator simple/rotor simple con excitación de imán permanente, la figura 16 muestra una configuración de estator doble/rotor simple con excitación de imán permanente, la figura 17 muestra dos segmentos de estator adyacentes 3b/rotor simple con excitación de CC y la figura 18 muestra un devanado de fase y de campo concentrado.

40 Máquina síncrona híbrida (HSM)

La máquina "HSM" se diferencia de la máquina "DASH" principalmente por tener imanes permanentes con polos magnéticos alternos en la superficie de estator.

45 La topología de máquina síncrona híbrida básica se muestra en la figura 19. La máquina consiste en un estator con devanado y un rotor de reluctancia de polos salientes. Se colocan imanes permanentes en los dientes de estator como se muestra en la figura 19. El PM establece un campo magnético y se conecta al devanado de estator y al rotor de reluctancia magnética.

50 En el modo generador, la conexión de flujo magnético con el devanado varía cuando los rotores de reluctancia se mueven y, por tanto, se induce la tensión.

El par desarrollado se expresa como;

$$T = \frac{gP}{\omega_s} = \frac{3gpVE \text{ sen } \delta}{2\pi fX}$$

55

Donde,

60 V= Tensión de Terminales  
E = Tensión inducida  
F = frecuencia de tensión

X = reactancia del devanado de estator

g = desmultiplicación = velocidad de rotor/velocidad de campo de desplazamiento primario

p = número de segmentos de rotor/par de polos de devanado

- 5 En las figuras 20-26, se muestran variantes de HSM. Una topología de máquina síncrona híbrida de estator doble se muestra en la figura 20. La figura 21 muestra una vista tridimensional de un estator simple HSM, mientras que la figura 22 muestra una vista tridimensional de un estator doble HSM. La figura 23 muestra una ilustración de la ubicación de los devanados trifásicos rojo (R), amarillo (Y) y azul (B). La figura 24 muestra la ubicación de los devanados de fase (R), (Y) y (B) en el estator y sus posiciones con respecto a los devanados de campo y los bloques de rotor. La figura 25 ilustra varios tipos de diseños de estator, mientras que la figura 26 ilustra dos disposiciones de estator de núcleo E.

15 El HSM se puede utilizar como generador para diámetros > 5 m. Cuando el diámetro de la máquina es > 5 m, el estator se puede segmentar. El generador puede ser un generador de flujo radial o axial segmentado. El número de segmentos se puede seleccionar en función del peso y la energía.

En la figura 27 se muestra un generador típico con estator de devanado de doble capa. El entrehierro entre los imanes y los dientes de estator es cero.

- 20 Un pequeño entrehierro entre los imanes y el espacio (< 1 mm) entre los dientes de estator y los imanes (< 0,5 mm) no cambia la energía de manera significativa. Una disposición típica del estator y el rotor se muestra en la figura 28.

25 Dentro de las ranuras 2 se pueden incorporar imanes, como se muestra en la figura 29. Esto ayuda a retener los imanes en los dientes de estator. Esta disposición no aumenta la dispersión de flujo magnético y no disminuye significativamente el nivel de energía.

Un HSM se puede configurar y conformar, cf. figura 30, como un estator poligonal con devanado de estator que tiene un estator de doble capa.

- 30 Se analizaron técnicas de reducción de ondulación de par en un estator segmentado con HSM utilizado en aplicaciones de turbinas eólicas.

35 Los espacios en V 6 entre segmentos de estator adyacentes 3b dan como resultado efectos de campo magnético de entrada y salida y sus problemas asociados, tales como ondulaciones de fuerza. Se propone una técnica para reducir la ondulación de par al 50 %. Esta incluye:

Etapa 1: Ajustar el espacio entre los segmentos de estator 3 en lo que se refiere al número de segmentos de rotor

- 40 Etapa 2: Invertir las corrientes de fase con respecto a las corrientes de fase de segmentos adyacentes 3b.

Una disposición típica para 3 casos se muestra en la figura 31 y las curvas de ondulación de fuerza resultantes se muestran en la figura 32.

- 45 Las ondulaciones en la fuerza de tracción y la fuerza normal en HSM con forma de polígono se pueden reducir separando de manera adecuada los segmentos de estator adyacentes 3b con respecto al número de segmentos de rotor que cubren toda la longitud de estator, e invirtiendo la fase de corrientes del segmento adyacente 3b con respecto al otro segmento 3.

50 El control de entrehierro puede aplicarse a todos los tipos de máquinas mencionadas aquí. El control de cojinete magnético puede ser muy simple sin sensores adicionales, por ejemplo, comparando la tensión inducida en las bobinas de estator en cada lado. Basándonos en el resultado de tal comparación, queda claro en qué lado debe ajustarse el entrehierro.

- 55 Las máquinas de accionamiento directo de MW nominal requieren un entrehierro muy estrecho (del orden de unos pocos mm, menos de 10 mm) y un gran diámetro (> 5 m y < 30 m) para reducir la masa activa.

Mantener entrehierros muy estrechos en máquinas de diámetro tan grande supone un problema de diseño mecánico difícil. Por tanto, estos tipos de máquinas requieren un control local de entrehierro.

60 El control local de entrehierro se puede realizar mediante un cojinete de contacto mecánico o cojinetes de fluido o un cojinete magnético sin contacto.

- 65 Se pueden añadir cojinetes magnéticos de 5 ejes independientes junto con un generador. Esta idea aumenta el peso del sistema de generador.

Se pueden incorporar devanados adicionales en el estator (cara única de una máquina de doble cara) como se muestra en la figura 33. El entrehierro entre el estator y el rotor se puede mantener cambiando la corriente CC mediante la detección de la posición de rotor.

5 Un devanado adicional en la ranura de estator 2 con excitación de CC puede producir una acción de cojinete para controlar el entrehierro. El rendimiento de la máquina y el peso de la máquina no se ven afectados significativamente por el devanado adicional. Tampoco se ve afectado el rendimiento de la máquina en lo que se refiere al factor de energía y a las pérdidas.

10 La presente invención se refiere a los devanados de fase eléctrica del estator. Todas las realizaciones tienen un estator que consiste en segmentos que se juntan para formar el estator como se muestra en la figura 4 o la figura 5. Esto puede referirse a una máquina de flujo axial en la que el flujo magnético es paralelo al árbol giratorio de la máquina o a una máquina de flujo radial en la que el flujo es perpendicular al árbol giratorio de la máquina.

15 En alguna realización, el estator es de 360 grados (figura 4), en otras realizaciones el estator está limitado a una o más áreas de, por ejemplo, 60 grados (figura 5). Común para la mayoría de las realizaciones es que el estator consiste en segmentos.

20 Cada segmento de estator 3 puede comprender una disposición de fijación en forma de cola de milano para fijar cada segmento de estator 3 a una estructura de armazón. La forma de cola de milano se puede colocar en la parte posterior del segmento. Un material no magnético puede colocarse entre las disposiciones de fijación en forma de cola de milano y la estructura de armazón para reducir la dispersión de flujo entre los segmentos de estator y la estructura de armazón. El material no magnético puede comprender una cubierta de acero inoxidable colocada entre las disposiciones de fijación en forma de cola de milano y la estructura de armazón.

25 Puede haber espacios en forma de V 6 entre segmentos de estator contiguos cuando están alineados en la estructura poligonal. Un material ferromagnético puede colocarse en los espacios en forma de V 6 entre segmentos de estator contiguos, mejorando así la eficiencia del generador de energía. Además, se pueden colocar medios de refrigeración de estator adecuados dentro de los espacios en forma de V.

30 Cada segmento de estator 3 puede comprender laminados de acero 4, estando dispuestos dichos laminados de acero 4 en una dirección tangencial a la dirección circunferencial del estator.

35 Cada segmento de estator 3 está hecho preferiblemente de una pila de laminación de chapa metálica delgada. Cada lámina forma una imagen bidimensional de un segmento de estator, la tercera dimensión está formada por el apilamiento. Las láminas están formadas de manera que hay ranuras 2 para recibir una serie de devanados de estator, también se puede decir que las ranuras 2 forman una serie de dientes de estator. El segmento de estator 3 tiene entonces un primer lado 14 formado por la primera pieza de lámina de laminación y un segundo lado formado por la última pieza de lámina de laminación. Los otros cuatro lados comprenden los lados principales de la lámina de laminación y, por tanto, son: un lado frontal (orientado hacia el entrehierro), un lado posterior opuesto al entrehierro, ver figura 3, y los otros dos lados que serán adyacentes al segmento adyacente 3b.

45 Todos los sistemas trifásicos eléctricos, y también los sistemas eléctricos con mayor número de fases, se pueden conectar de varias maneras. Los dos sistemas más comunes para una configuración trifásica son el acoplamiento Delta y el acoplamiento Wye. Una máquina eléctrica acoplada en Wye necesita tener un extremo de cada uno de los devanados trifásicos de la máquina conectado a un punto común.

50 Un segmento 3 para una máquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las realizaciones, debe conectarse en Delta, Wye o con devanados abiertos. En el caso de devanados abiertos, los devanados pueden conectarse a un conector de bus común o, alternativamente, pueden conectarse grupos de segmentos a segmentos en serie, en donde para los segmentos en serie, cada uno de la pluralidad de devanados se conecta en serie con su devanado correspondiente en el segmento adyacente 3b, y en el que la pluralidad de puntos extremos se conecta a un punto común, el punto neutro. El devanado correspondiente en el segmento adyacente 3b es normalmente el devanado que tiene una tensión de fase que está en fase con la tensión de fase del segmento. Puede haber situaciones en las

55 que no estén en una fase completa entre sí.

En una máquina de flujo radial, la laminación de estator se apila en la dirección axial y la máquina de flujo axial se apila en la dirección tangencial, ver figura 1 y figura 2.

60 En las realizaciones de la máquina de flujo axial, cada segmento 3 actúa como una máquina lineal única, magnéticamente desacoplada de los otros segmentos a través de un espacio. Los segmentos deben estar lo más cerca posible entre sí para que la distancia/espacio entre segmentos adyacentes 3b sea pequeña. Esto se debe a que todos los imanes delante de tal distancia/espacio no crean ningún par, por lo que no son útiles. La pila de laminación de estator de una máquina de flujo radial se puede hacer de manera que prácticamente no quede espacio entre los segmentos. Para el flujo axial, la cantidad de estos imanes no útiles se puede reducir, si la distancia/espacio se reduce también.

De acuerdo con la invención reivindicada, el devanado 20a, 20b, 20c, 21a, 21b, 21c se hace en una configuración de una sola capa, Otros ejemplos, que no forman parte de la invención reivindicada, tienen una configuración de dos capas o incluso de más capas.

5 Los devanados de una máquina segmentada pueden ser bien un devanado concentrado 23a, 23b, 23c, como se muestra en la figura 40 o bien un devanado imbricado, como en la figura 35.

10 La configuración de devanado concentrado es donde cada uno de los devanados 23a, 23b, 23c es un devanado concentrado bobinado alrededor de un solo diente de estator 24, 25 del segmento. En la figura 40 los devanados son de dos capas, también se puede hacer una configuración similar, de acuerdo con la invención reivindicada, para una máquina con devanados concentrados de una sola capa 23a, 23b, 23c, donde solo habrá un devanado de fase en cada ranura.

15 La configuración de devanado imbricado es como se muestra en la figura 35. Cada uno de los devanados de fase se bobina con uno o más giros alrededor de más de un diente de estator 24, 25 y donde el siguiente devanado de fase está en la ranura adyacente 2 con giros alrededor del mismo número de ranuras 2 que el devanado de fase mencionado anteriormente. Los devanados de fase saltan entre sí. El devanado de fase puede consistir en uno o más sectores del devanado donde cada sector es un número de giros de devanado alrededor de las mismas ranuras 2. El siguiente sector del primer devanado de fase se bobina alrededor de un nuevo grupo de ranuras 2 después del último devanado de fase. La figura 36 muestra dos segmentos adyacentes 3b, donde cada segmento 3 contiene un devanado trifásico (v, u, w) 20a, 20b, 20c de una sola capa, cada segmento 3 solo tiene un sector de devanado. El signo más y menos indica la dirección del devanado en la ranura.

20 La figura 35 muestra una realización de la invención reivindicada con más de dos segmentos, donde cada devanado de fase 20a, 20b, 20c consiste en dos sectores de una sola capa.

25 La figura 37 muestra un ejemplo, que no forma parte de la invención reivindicada, de un segmento 3 con un devanado imbricado de dos capas, el devanado en la ranura más a la izquierda 27 “-v” comienza en la capa inferior 21a y gira alrededor de tres dientes de estator 24, 25 y se encuentra en la cuarta ranura 28 como el devanado “+ v” en la capa superior 22a, lo mismo se aplica al devanado “u” y “w”.

30 El devanado se puede incorporar en las ranuras 2 en un devanado imbricado de una sola capa 20a, 20b, 20c, lo que significa que todos los dientes se llenan con un conductor. Entre dos segmentos hay un espacio en V con un tamaño de 1/3 de un paso de polo en el diámetro medio. Las fases se distribuyen en los segmentos de manera diferente, de modo que todas las fases están presentes en la primera ranura 2 y la última ranura 2 de un segmento 3 el mismo número de veces.

35 De acuerdo con la invención reivindicada, una máquina eléctrica comprende una pluralidad de segmentos de estator, donde cada segmento 3 tiene una pluralidad de devanados de fase eléctrica incorporados en ranuras de estator 2 en una secuencia de fase, y en donde la fase de la primera ranura 2 de un segmento 3 es diferente de la fase de la primera ranura 2 de un segmento adyacente 3b. Lo que significa que la secuencia de las fases podría ser la misma, pero el orden en el que comienzan en la primera ranura 2 es diferente.

40 La secuencia de los devanados de fase en la máquina eléctrica es tal que los devanados de fase forman una pluralidad de fases eléctricas distribuidas igualmente con el mismo ángulo de fase entre las fases eléctricas. Para una máquina trifásica debe haber un ángulo de 120 grados eléctricos entre las fases.

45 La ubicación de la fase individual en el segmento 3 puede afectar al nivel de tensión inducido en el devanado, por lo que el nivel de tensión de las tres fases no está completamente equilibrado. Esto puede deberse al hecho de que la longitud de al menos uno de los devanados 20, 21, 31 en un segmento 3 difiere de la longitud de los otros devanados en el mismo segmento, lo que nuevamente podría estar relacionado con la ubicación específica del devanado en la ranura 2 y la distancia al punto neutro 39 y/o la distancia a la caja de terminales o la barra de bus de terminales, donde los extremos de devanado 40, 41 se conectan para alcanzar la conexión eléctrica a la red eléctrica o similar donde se va a conectar la máquina.

50 Cambiar el orden de las fases para equilibrar las tensiones de una parte más grande de la máquina es una solución para superar ese problema, como ejemplo, tres segmentos 3 pueden conectarse en serie, donde cada uno de los devanados de fase 20, 21, 31 en cada segmento 3 se conecta en serie con el devanado de fase de una fase eléctrica correspondiente en el segmento adyacente 3b.

55 Para una máquina eléctrica de la presente invención, el número de devanados conectados en serie debe ser igual al número de devanados de fase en cada segmento 3 N veces, donde N es un número entero. Esto significa que, para una máquina trifásica, el número de segmentos 3 debería ser 3, 6, 9 ... etc.

60 En una realización de la invención, una máquina eléctrica tiene dos conjuntos de una pluralidad de fases, donde P segmentos forman un primer conjunto de fases eléctricas y Q segmentos forman un segundo conjunto de fases

- eléctricas, las fases del primer conjunto pueden no estar alineadas con las fases del segundo conjunto de fases eléctricas, donde P y Q son un número entero. En un ejemplo, una máquina tiene 2 x 3 fases con un desplazamiento de fase de 30 grados eléctricos. En una configuración de devanado de una sola capa, los devanados se pueden colocar en los segmentos como se muestra en la figura 35. En esta versión, se utiliza un diente completo 25 en el extremo del segmento. Aquí, toda la anchura de la ranura 2 se usa como una distancia entre los segmentos 3. En una implementación, la altura de yugo se incrementa un poco para evitar que una gran cantidad de flujo salte de un segmento 3 al siguiente.
- La configuración de la figura 36 es una configuración con devanado de una sola capa 20a, 20b, 20c, como en la figura 35, pero en la que el último diente de estator 25 tiene solo la mitad de la anchura, es decir, medio diente 25. En este caso, se puede colocar en los segmentos como se muestra en la figura 36. Aquí, el segmento 3 termina con un medio diente 25. La distancia entre estos segmentos debe mantenerse muy pequeña para asegurar que no se pierda demasiada anchura de diente. Puede ser necesario aumentar un poco la altura de yugo para evitar que salte una gran cantidad de flujo de un segmento 3 al siguiente.
- Es necesario un diente extremo 25 al final para recibir todo el flujo que no puede pasar al siguiente segmento. No se puede quitar, sin que disminuya la energía. Por tanto, es necesario un espacio en V bastante grande de 1/3 de un paso de polos.
- Para un devanado imbricado de doble capa, como se muestra en la figura 37, donde los segmentos terminan con medio diente 25, la distancia entre estos segmentos debe mantenerse muy pequeña para asegurar que no se pierda demasiada anchura de diente. Al final de cada segmento 3, las ranuras 2 se llenan con una capa, lo que ayuda a que la densidad de flujo disminuya. Por tanto, no es necesario aumentar la altura de yugo.
- En otra realización, un diente completo 25 está en el extremo del segmento 3, como en la figura 35 o en la figura inferior de la figura 39.
- Una forma de reducir el espacio entre segmentos es eliminar la última ranura 2 y acercar los dos segmentos. Mediante esto, se reduce el tamaño del espacio en V 6. Las dos bobinas, que ahora están fuera del segmento, pueden imbricarse, ya que es una capa inferior y una capa superior. Para garantizar que la capa superior permanezca como una capa superior, antes de montar la máquina, se puede insertar un espaciador no magnético (no se muestra) en la última ranura del estator 2 debajo de la capa superior, haciendo que el devanado mantenga su posición y no bloquee el devanado de capa inferior del segmento adyacente 3b.
- Su beneficio es que se puede reducir la cantidad de imanes por par. También se reducirá la ondulación de par, ya que los dientes para diferentes segmentos afectan a los polos de manera diferente para la misma posición de rotor.
- La figura inferior de la figura 39 muestra el segmento 3, en el que los dientes 25 al final de los segmentos se llenan hasta la mitad con un conductor con devanados imbricados de doble capa. La figura superior de la figura 39 también muestra un segmento 3 en el que los dientes al final de los segmentos se llenan hasta la mitad con un conductor con devanados imbricados de doble capa, pero sin el último diente 25. Esto también se aplica a la figura 38 que muestra dos segmentos con un espacio en V con el tamaño de 1/6 de un paso de polo en el diámetro medio.
- En un ejemplo, el segmento 3 puede tener un mayor número de ranuras 2 y, por tanto, la anchura también tiende a ser mayor (cubriendo un mayor número de grados angulares por segmento) y por ello, el número total del segmento 3 es menor, para evitar tener demasiadas ranuras medio llenas 2.
- En la figura 38 el espacio en V 6 entre los segmentos es más pequeño porque falta el diente extremo 25. Por tanto, muchos dientes solo se llenan la mitad. Esto reduce la energía en un modo casi igual que para el devanado clásico de una sola capa 21a, 21b, 21c. Una ventaja de esto es que el devanado frontal es un poco más simple y corto que el devanado de una sola capa 20a, 20b, 20c.
- Finalmente, en los dos extremos, las tres últimas ranuras 2 se llenan hasta la mitad. Por tanto, el par creado a partir de este segmento 3 es solo la mitad. La idea es eliminar el último diente 25. Mediante esto, una bobina (la capa inferior o la capa superior) está fuera del segmento. Ahora los dos segmentos se pueden mover muy cerca uno de otro. En el espacio en V, una capa inferior se encontrará con una capa superior. Finalmente estarán una detrás de otra. La imbricación no se realiza. Una máquina de flujo axial segmentada que tiene un devanado imbricado de dos capas. Entre las capas hay un espacio en V 6. Las últimas tres ranuras 2 se llenan solo hasta la mitad con cobre.
- Un método para aumentar el denominado factor de Carter en una máquina con devanado concentrado 23a, 23b, 23c consiste en tener una ranura bifurcada, lo que significa que se introduce una pieza de polos adicional entre los dos conjuntos de devanados en cada ranura 2 en la figura 18.
- El factor de Carter será más elevado con tal ranura bifurcada. Un factor de Carter más elevado significa que la densidad de flujo en el entrehierro es mayor. Finalmente se puede producir más par.

- En una configuración, las fases de dos segmentos, que son adyacentes entre sí, aunque ubicados en diferentes lugares, se pueden conectar en serie. Esto es posible si la distancia entre dos segmentos es, por ejemplo, 1/3 o 2/3 de un paso de polos en lugar de 3/3 de un paso de polos, también pueden aplicarse otras relaciones. Si las fases de tres segmentos, que están uno al lado de otro, están conectadas entre sí en serie, la tensión en los terminales, que es la suma de las tres características diferentes de las tensiones del segmento 3, es la misma para todas las fases. Finalmente, la tensión está equilibrada en todas las fases. Esto significa que tres segmentos se juntan y se convierten en un sistema independiente, con fases equilibradas. Los tres segmentos ya no pueden funcionar de manera independiente entre sí. Se puede hacer algo similar para una máquina con un mayor número de fases, tal como un múltiplo de 3 o cualquier otra combinación.
- Aunque en el párrafo anterior se menciona que la conexión en serie de segmentos debe ser con segmentos adyacentes 3b, una conexión en serie similar también funcionará entre segmentos que no sean adyacentes entre sí.
- Las tres tensiones de las tres fases de un segmento de estator 3 no tienen la misma amplitud ni armónicos. Esto se debe a que cada fase está ubicada en una ubicación diferente en el segmento 3, que otra fase. Por tanto, el sistema no es simétrico para las tres fases.
- La presente invención también se refiere a un método para montar una máquina eléctrica como se define en la reivindicación independiente 7.
- Cuando se disponen los devanados de fase en las ranuras 2 del estator 1, hay que tener en cuenta muchos aspectos. Una cosa que es importante es usar de la mejor manera posible la longitud del devanado 20. Sólo hay tensión inducida en el devanado siempre que el devanado esté expuesto a un cambio en el campo magnético, esto significa que se induce tensión en la ranura y que casi no se induce tensión fuera de la ranura, aparte de la que proviene de la inductancia de fuga. Por tanto, es importante minimizar en la medida de lo posible el devanado frontal y el devanado utilizado para conexiones. Esto supone especialmente un problema para una configuración de estator segmentado donde cada segmento 3 debe ser independiente de los otros segmentos.
- Esta realización aborda únicamente un devanado trifásico 21, 22. Se puede aplicar para un devanado de una sola capa de acuerdo con la invención reivindicada, o para un devanado de doble capa.
- La figura 41 muestra una configuración de devanado en la que la fase W tiene un devanado frontal de paso de seis polos para pérdidas 35. Además, hay tres ubicaciones 36 donde hay tres bobinas en el mismo devanado frontal.
- La figura 42 muestra una configuración de devanado en la que la fase W tiene un devanado frontal de paso de 12 polos para pérdidas 35 y nuevamente hay tres ubicaciones 36 donde hay tres bobinas en el mismo devanado frontal.
- La figura 44 muestra el modo simple en el que todas las fases se colocan en la laminación desde el mismo lado. La tercera fase (la fase a la derecha) debe tener una cuarta parte 32 de todo el giro, para alcanzar la conexión a la siguiente bobina.
- En una realización de la presente invención, un segmento de estator 3 tiene un conjunto de devanados 31, donde algunos devanados 31a, 31b comienzan desde un lado del segmento de estator 3 y otro u otros 31c comienzan desde el otro lado del segmento.
- Una realización describe un segmento 3 con tres fases, donde la tercera fase 31c comienza desde el otro lado de los segmentos de estator como las dos primeras fases 31a, 31b, tal como se muestra en la figura 43.
- El punto de inicio de devanado de tercera fase 40 tiene que ser extendido a lo largo de un lado posterior del segmento 3 (laminación de estator) hasta llegar al otro lado donde los dos devanados tienen sus puntos de inicio 40, si es necesario. La salida de la tercera fase que se conecta 37 con las otras fases en el punto neutro 39 o punto común 39, debe volver a colocarse detrás de la pila de laminación de estator para alcanzar las otras dos fases.
- La figura 43 muestra una configuración de devanado óptima en la que la pérdida de devanado frontal se reduce a dos veces la longitud del núcleo de plancha, es decir, la longitud de una ranura, esto es principalmente óptimo para un generador con una pila de estator corta y la estructura de generador debe permitir que el devanado vaya por detrás del yugo de estator 37. Los devanados están ubicados de manera que en ninguna ubicación del devanado frontal haya más de dos bobinas.
- Las figuras 41 a 43 muestran una configuración con un solo devanado, pudiéndose aplicar, naturalmente, el mismo principio a una configuración de devanado con dos o más giros y también para una o dos capas.
- La figura 43 muestra una realización de la nueva invención, en la que el devanado de fase va directamente de una a la siguiente sin giros adicionales, la tercera fase se coloca en la laminación desde el otro lado. La tercera fase no necesita tener una cuarta parte de todo el giro para alcanzar la conexión a la siguiente bobina. Por tanto, la tercera fase debe ponerse detrás de la pila dos veces.

5 Las ventajas de la configuración de devanado que se muestra en la figura 45, son que el último giro que continúa en la conexión a la siguiente bobina, no necesita tener la cuarta parte de un giro completo para alcanzar la conexión a la parte. Esto se aplica a las tres fases, mientras que la configuración en la figura 44, debe tener la cuarta parte de un giro completo. En caso de un número bajo de giros y un segmento largo 3 en la dirección normal, aunque una longitud de pila de laminación corta, la ventaja es mayor, porque la fracción de bobina que se guarda aumenta aún más. Al reducirse la longitud de la bobina, las pérdidas de cobre se reducen proporcionalmente.

10 La figura 44 muestra una configuración de devanado común en la que la ventaja descrita anteriormente no existe. La tercera fase debe tener una cuarta parte 32 de todo el giro también en el último giro para alcanzar la conexión a la siguiente bobina.

Esto puede aplicarse a todas las máquinas segmentadas, ya sean de flujo radial, de flujo axial o lineales.

15 También se describe un método para montar un generador, en el que algunos devanados comienzan desde un lado del segmento de estator 3 y otro u otros comienzan desde el otro lado del segmento.

20 En un método para montar un segmento de estator 3 para una máquina eléctrica con una pluralidad de devanados, donde cada devanado tiene un punto de inicio y un punto final de devanado y un yugo de estator con una pluralidad de ranuras de estator 2 para recibir al menos un devanado de estator, el segmento 3 tiene un primer lado 14 y un segundo lado 15, como en la figura 3, comprendiendo el método las etapas de:

- Incorporar al menos un devanado con su punto de inicio 40 en el primer lado 14 y su punto final 41 en el primer lado 14 del segmento, en una o más ranuras de estator 2, e
- Incorporar al menos otro devanado que tenga su punto de inicio 40 en el segundo lado 15 y su punto final 41 en el segundo lado 15 del segmento, en una o más ranuras de estator 2.

30 En un ejemplo adicional, también se describe el método para montar un segmento de estator 3, donde la pluralidad de puntos finales se conecta en un punto común, y donde el al menos un devanado que termina en el segundo lado se extiende para conectarse con otros puntos finales. El al menos un devanado que termina en el segundo lado 15 puede extenderse a lo largo de un lado posterior del segmento.

**REIVINDICACIONES**

1. Máquina eléctrica que comprende una pluralidad de segmentos de estator (3), cada segmento (3) tiene una pluralidad de devanados de fase eléctrica (20, 21, 31) incorporados en ranuras de estator (2) en una secuencia de fase, en la que la fase de la primera ranura de un segmento (3) es diferente de la fase de la primera ranura de un segmento adyacente (3b),  
5 cada uno de los devanados de fase en cada segmento (3) está conectado en serie con el devanado de fase de una fase eléctrica correspondiente en el segmento adyacente (3b), en el que el número de devanados conectados en serie es igual al número de devanados de fase en cada segmento (3) N veces, en donde N es un número entero,  
10 y en la que los devanados están incorporados en las ranuras (2) en una sola capa.
2. Máquina eléctrica según la reivindicación 1, en la que la secuencia de los devanados de fase es tal que los devanados de fase forman una pluralidad de fases eléctricas distribuidas igualmente con el mismo ángulo de fase entre las fases eléctricas.  
15
3. Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la longitud de al menos uno de los devanados en un segmento (3) difiere de la longitud de los otros devanados.
- 20 4. Máquina eléctrica según la reivindicación 3, en la que P segmentos forman un primer conjunto de fases eléctricas y Q segmentos forman un segundo conjunto de fases eléctricas, las fases del primer conjunto no están alineadas con las fases del segundo conjunto de fases eléctricas, en la que P y Q son números enteros.
- 25 5. Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada uno de los devanados es un devanado concentrado (23a, 23b, 23c) bobinado alrededor de un solo diente de estator (24, 25) del segmento.
6. Máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada uno de los devanados está bobinado como un devanado imbricado (21, 22).
- 30 7. Método de montaje de una máquina eléctrica que comprende una pluralidad de segmentos de estator adyacentes, comprendiendo cada segmento (3) un yugo con una pluralidad de ranuras de estator (2), comprendiendo dicho método las etapas de:
- 35 - en un primer segmento, incorporar una pluralidad de devanados de fase eléctrica en las ranuras de estator (2) en una secuencia de fase;  
- en un segmento adyacente (3b), incorporar una pluralidad de devanados de fase eléctrica en las ranuras de estator (2) en una secuencia de fase,  
- conectar en serie cada uno de los devanados de fase en el primer segmento (3) con el devanado de fase de una fase eléctrica correspondiente del segmento adyacente (3b) de modo que la fase de la primera ranura de un segmento (3) sea diferente de la fase de la primera ranura de un segmento adyacente,  
40 en el que el número de devanados que se conectan en serie es igual al número de devanados de fase en cada segmento (3) N veces, en donde N es un número entero,
- 45 en el que  
- los devanados están incorporados en las ranuras (2) en una sola capa.
- 50 8. Método de montaje de una máquina eléctrica según la reivindicación 7, en el que la longitud de al menos uno de los devanados en un segmento (3) difiere de la longitud de los otros devanados.

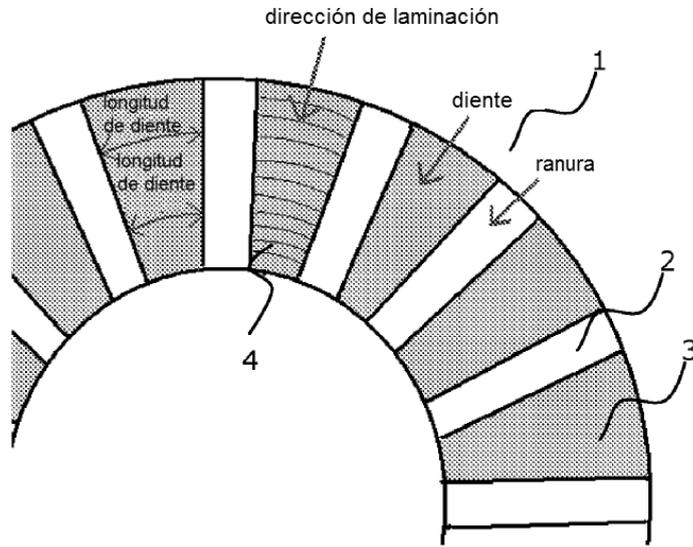


Fig. 1

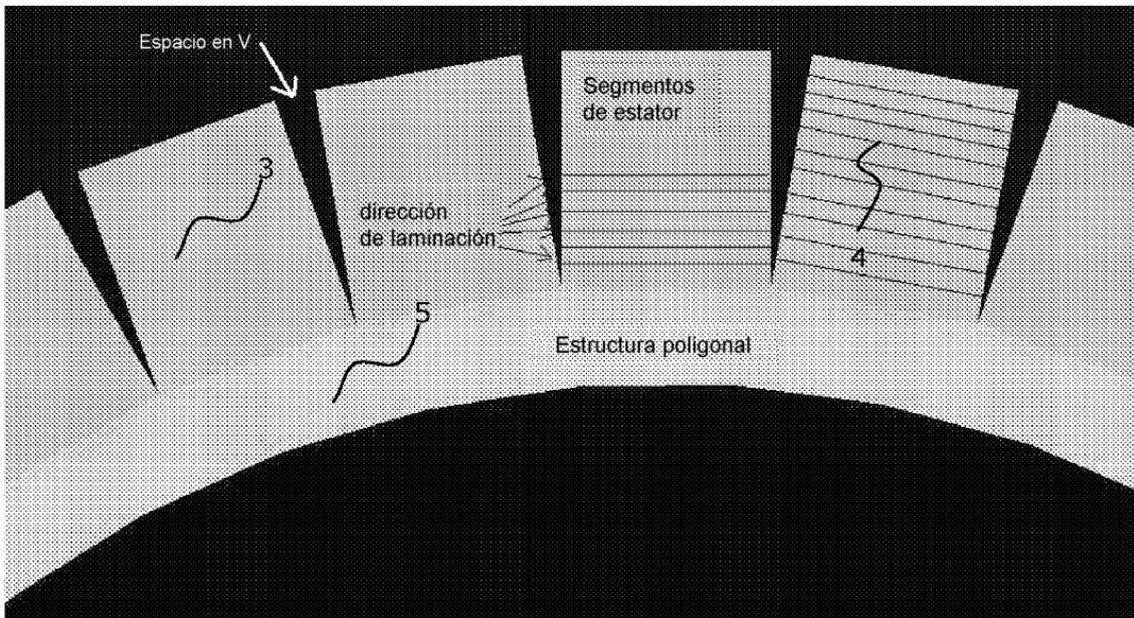


Fig. 2

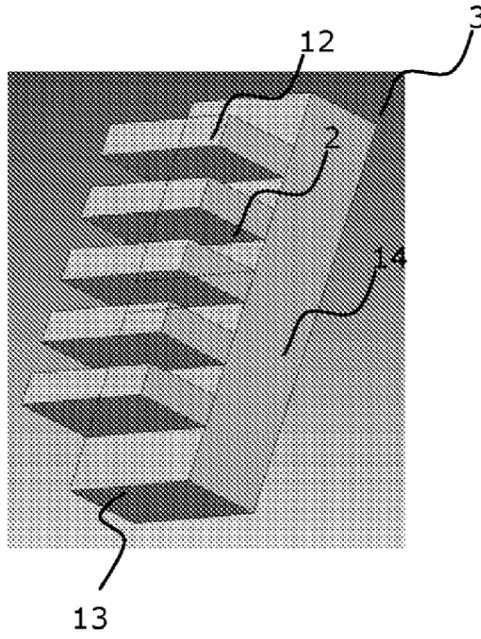


Fig. 3

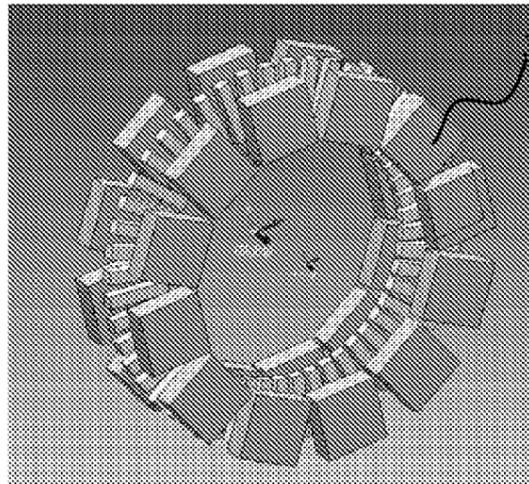


Fig. 4

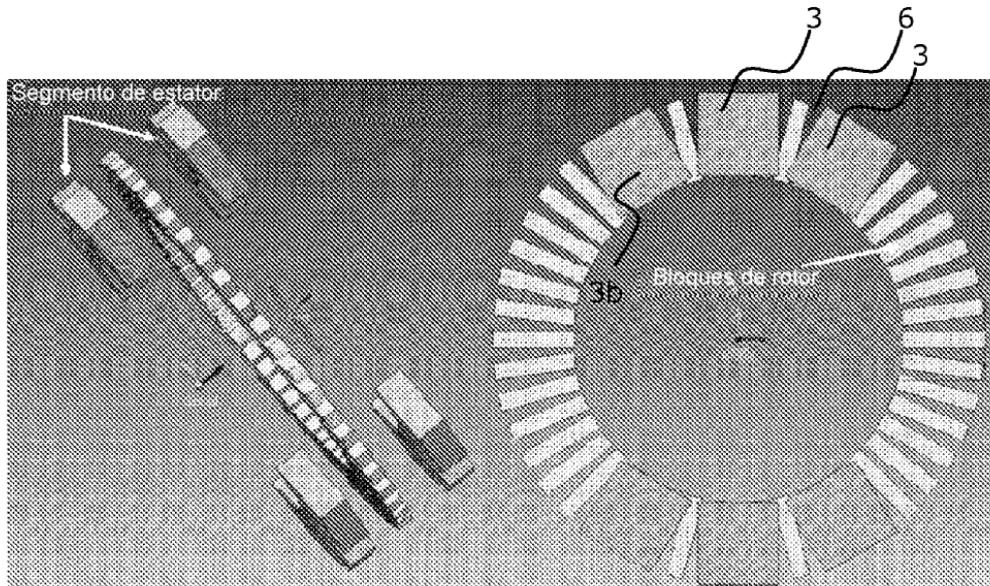


Fig. 5



Fig. 6

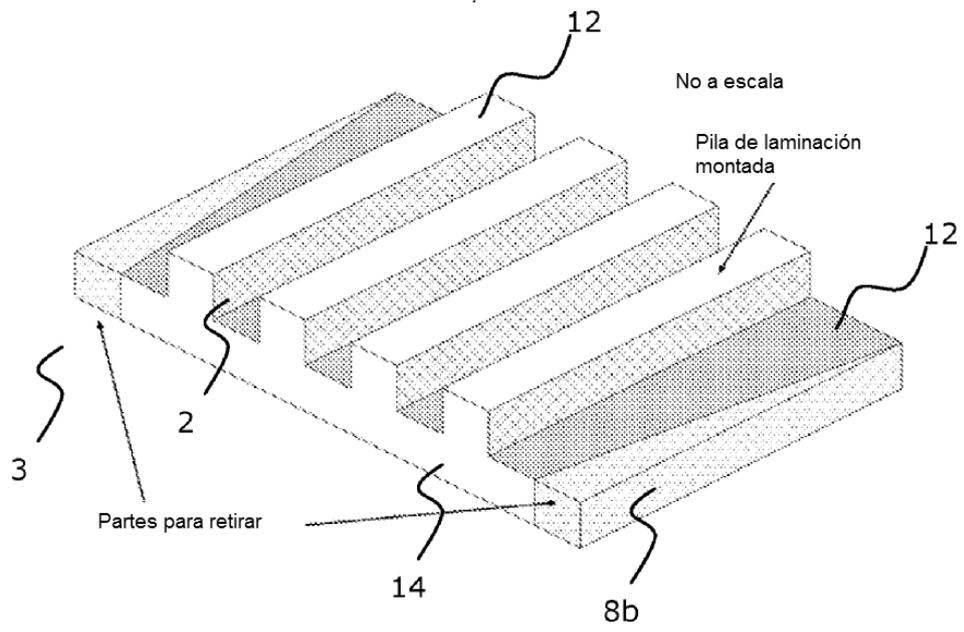


Fig. 7

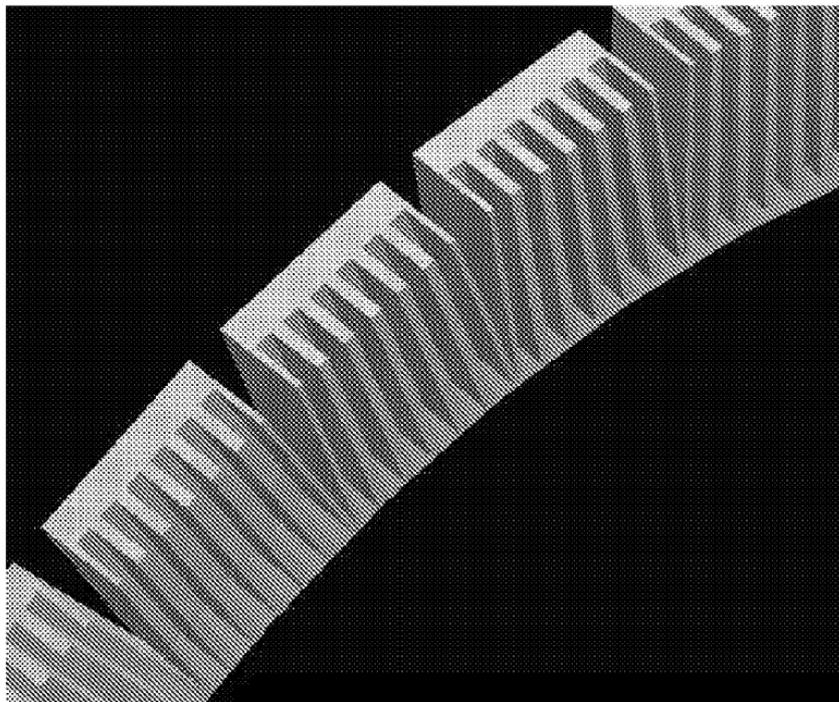


Fig. 8

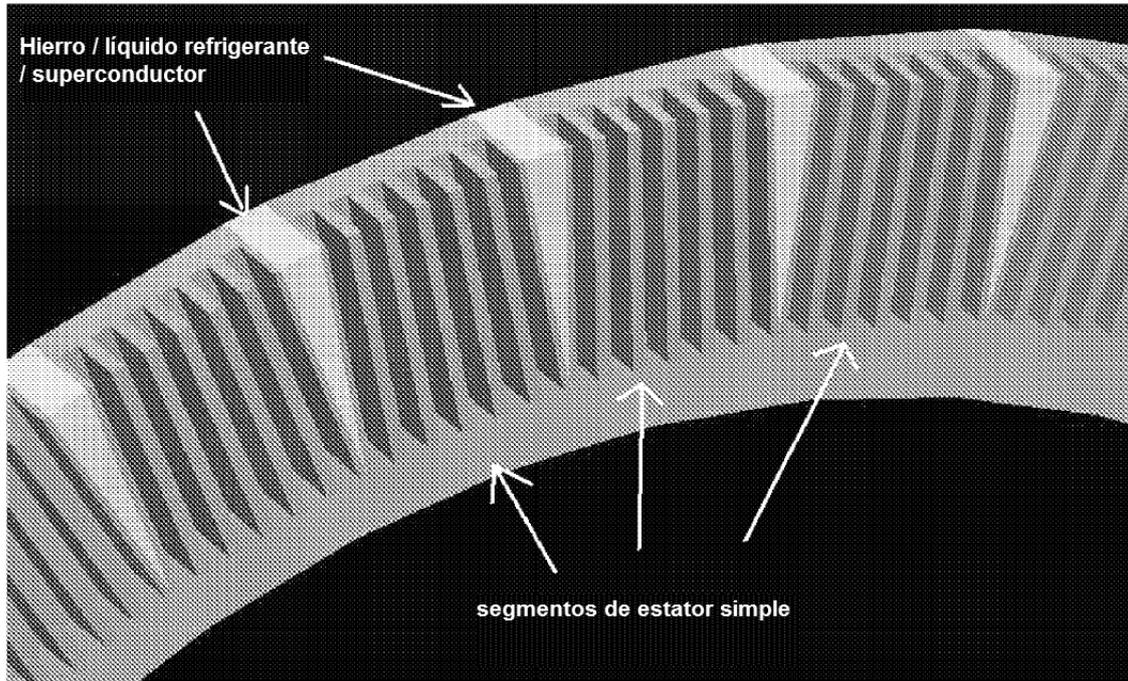


Fig. 9

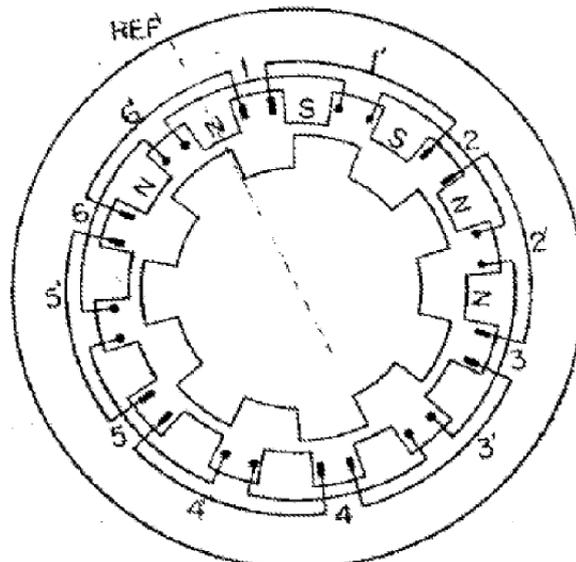


Fig. 10

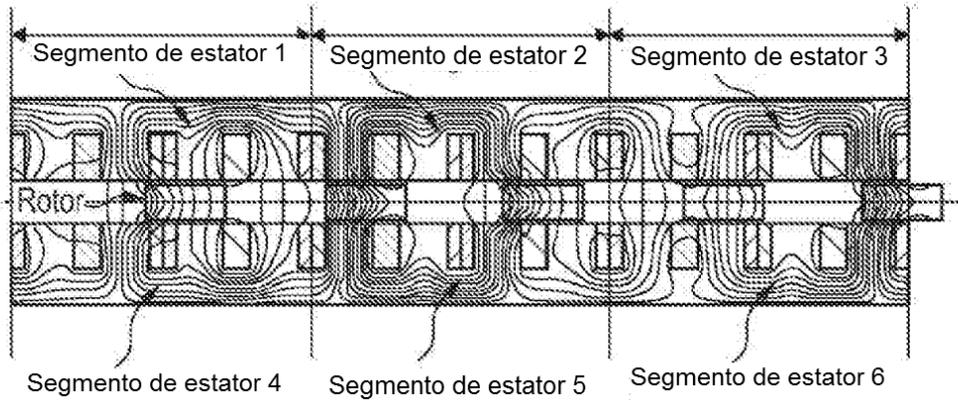


Fig. 11

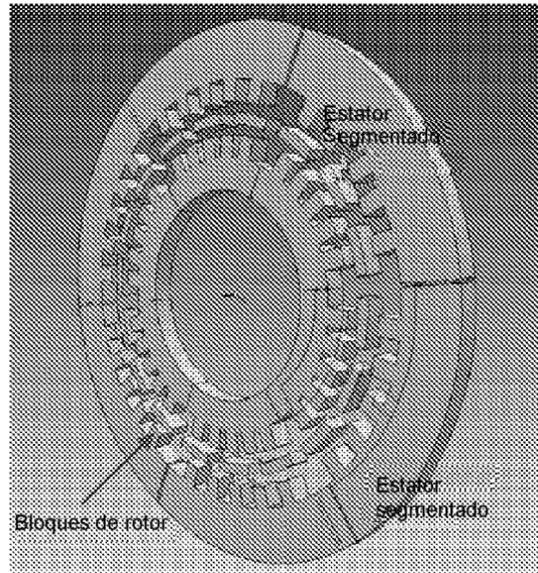


Fig. 12

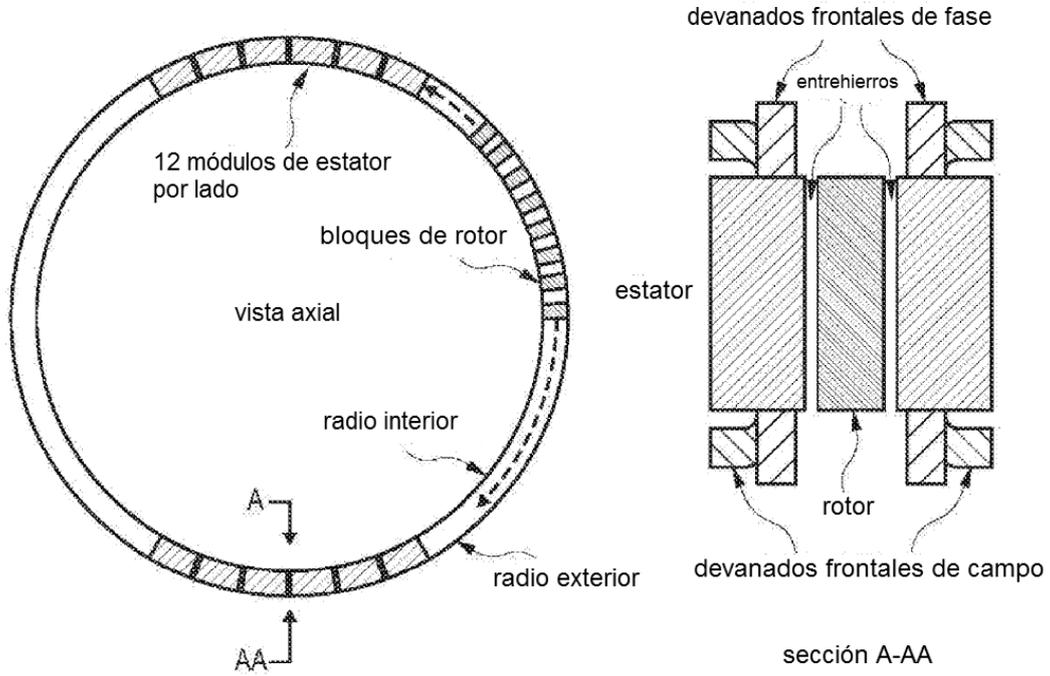


Fig. 13

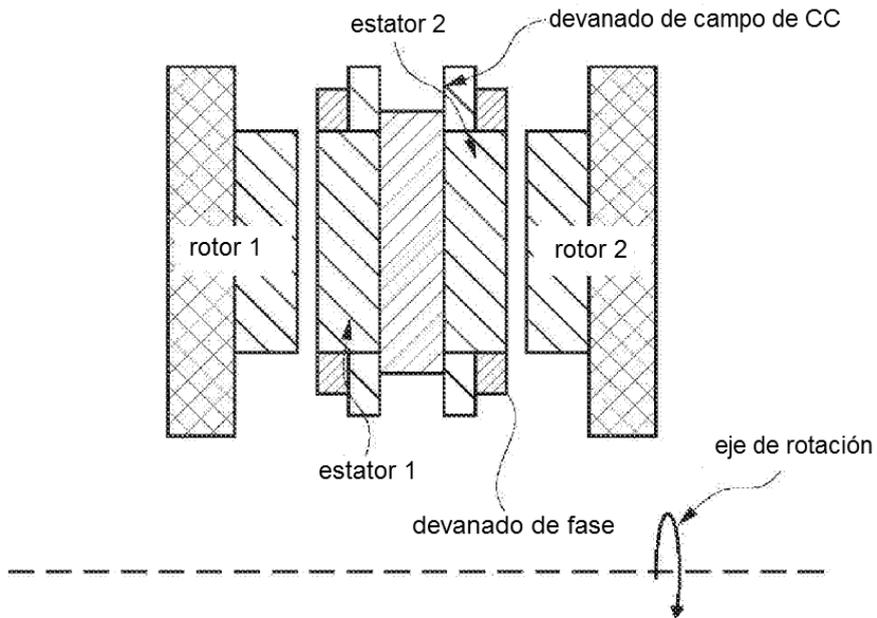


Fig. 14

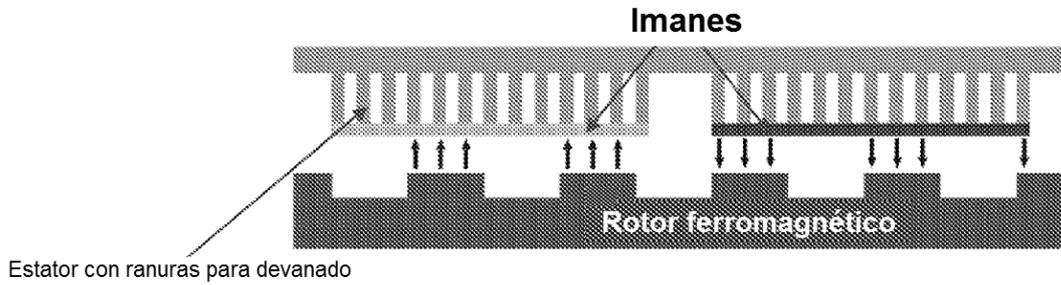


Figura 3. Sección longitudinal de una máquina de Lorenz de imán permanente

Fig. 15

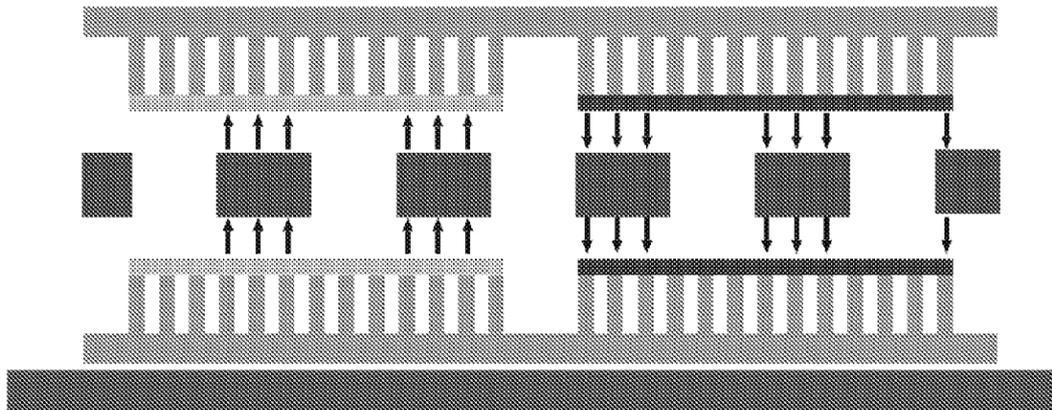


Fig. 16



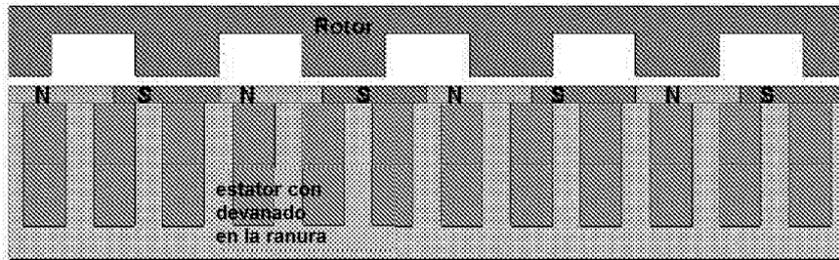


Fig. 19

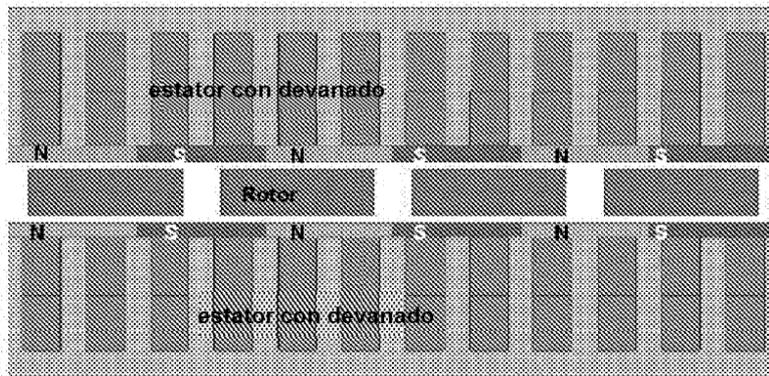


Fig. 20

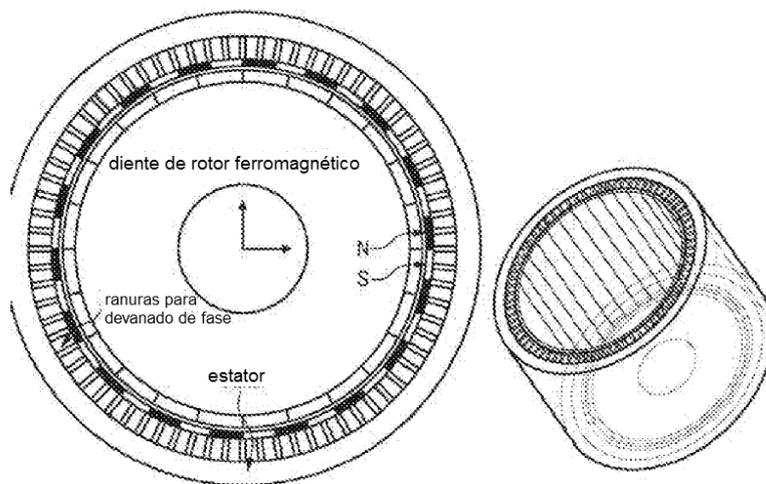


Fig. 21

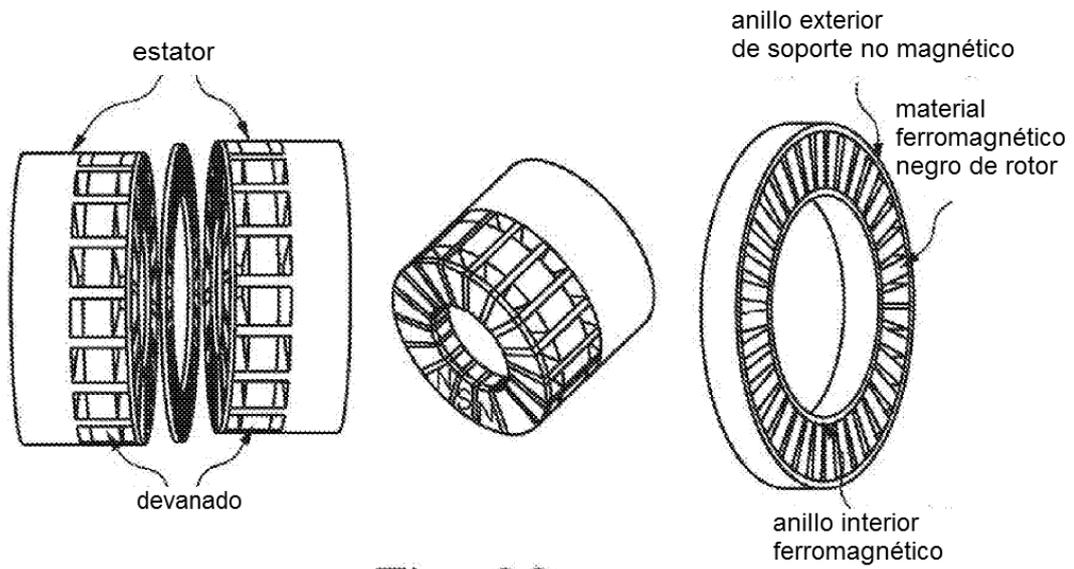


Fig. 22

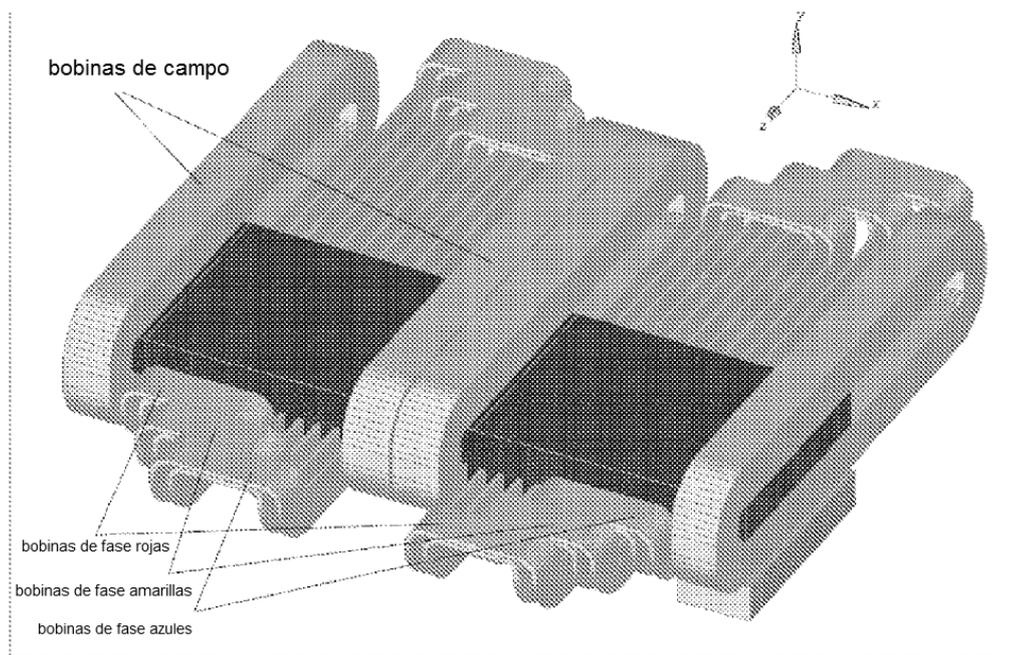


Fig. 23

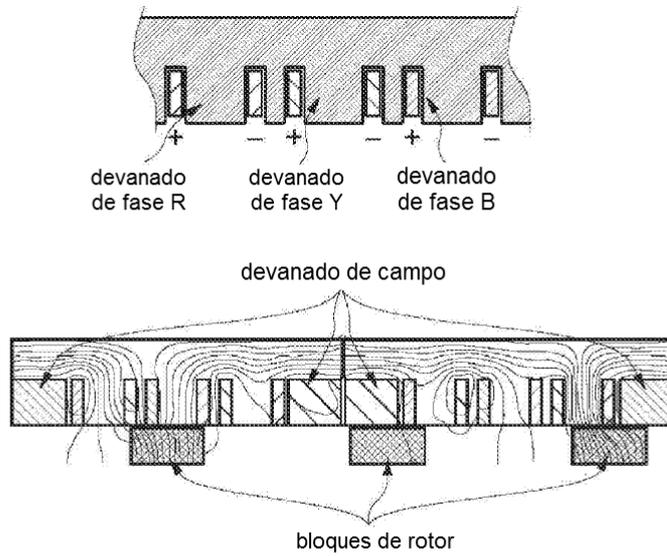


Fig. 24

modelado de un generador de Lorenz 1 spp de devanado de doble capa

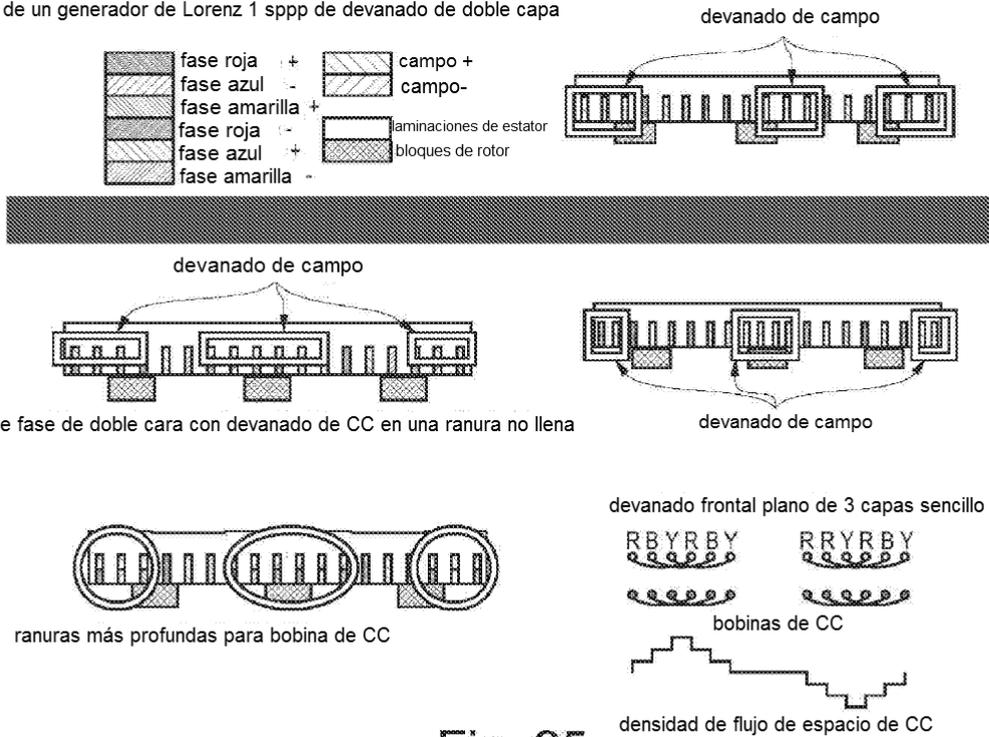


Fig. 25

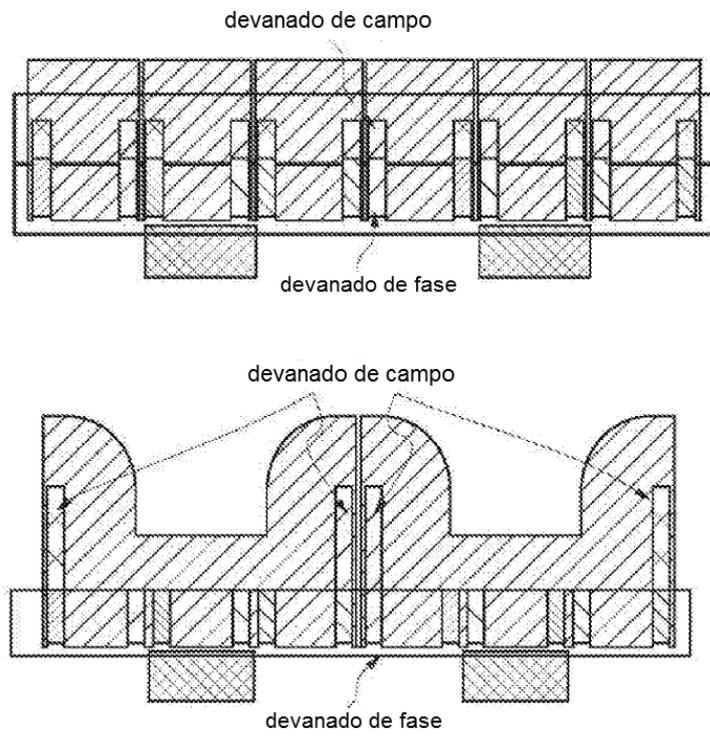


Fig. 26

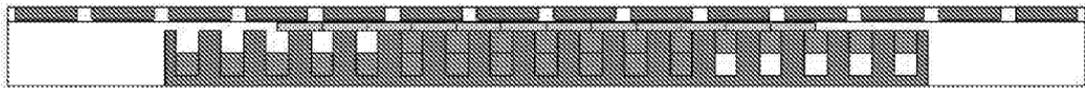


Fig. 27

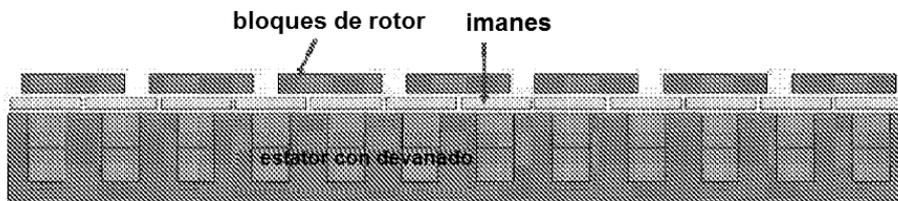


Fig. 28

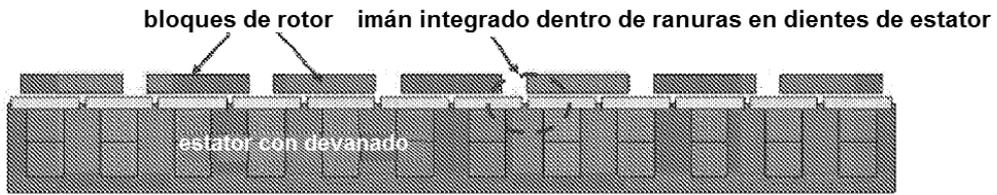


Fig. 29

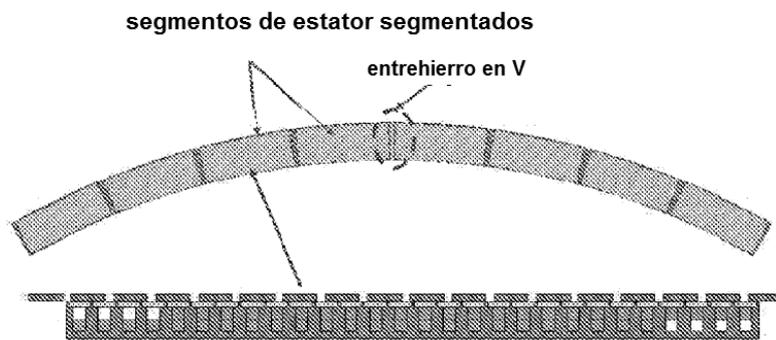


Fig. 30

- Segmentos con una longitud total de módulo de 17,5, direcciones de corriente invertidas en el segundo módulo
- Segmentos con una longitud total de módulo de 17,0, mismas direcciones de corriente en ambos módulos
- Segmentos con una longitud total de módulo de 18,0, mismas direcciones de corriente en ambos módulos

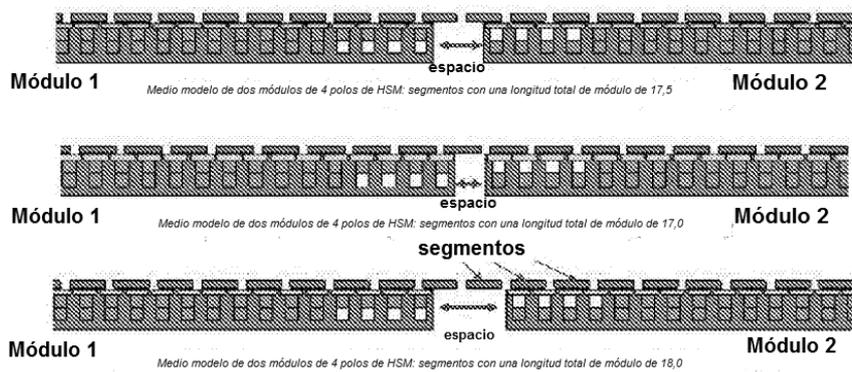


Fig. 31

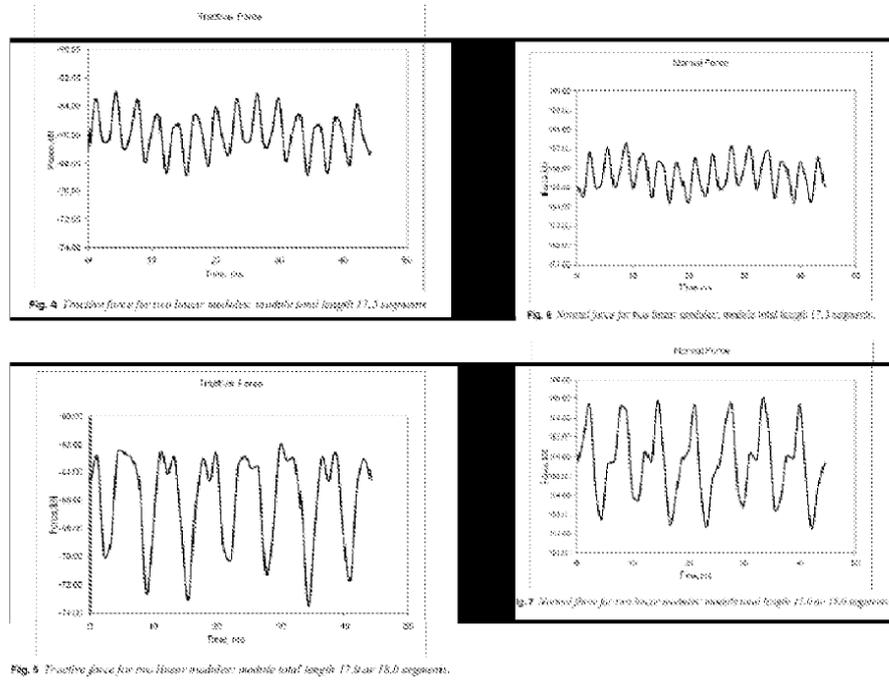


Fig. 32

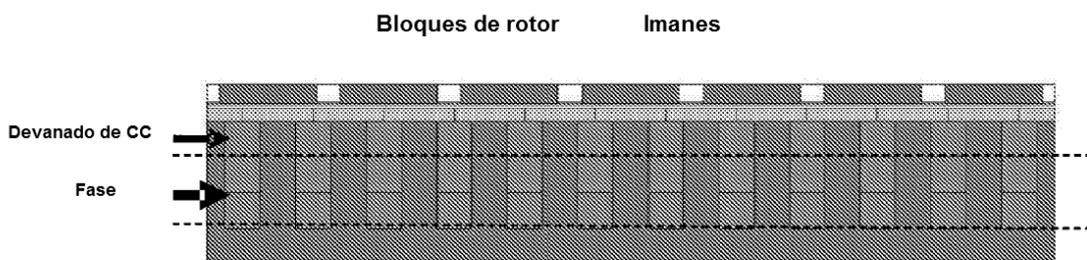


Fig. 33

Corriente de entrada de CC

corriente de salida de CC

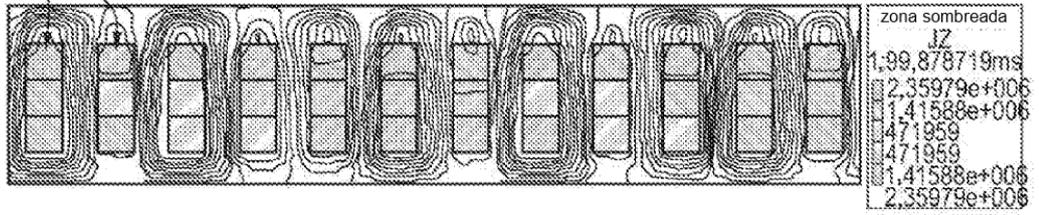
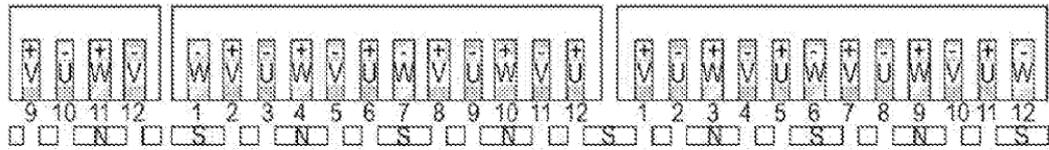


Fig. 34



1/3 de polo  
entre secciones

Fig. 35

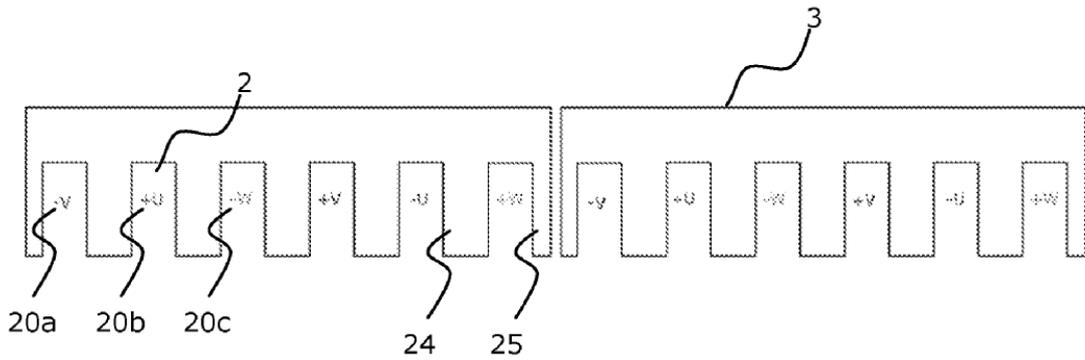


Fig. 36

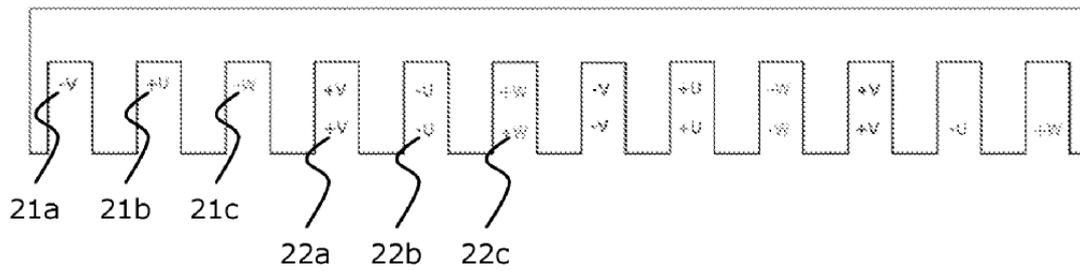
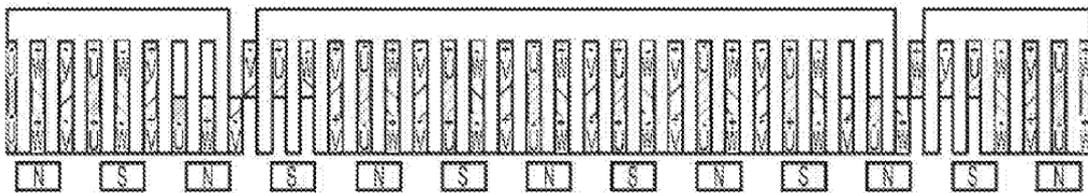


Fig. 37



Fig. 38

Segmentos con espacio en V reducido



Configuración de segmento normal

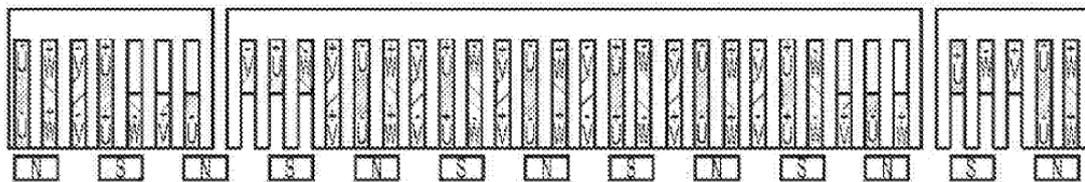


Fig. 39

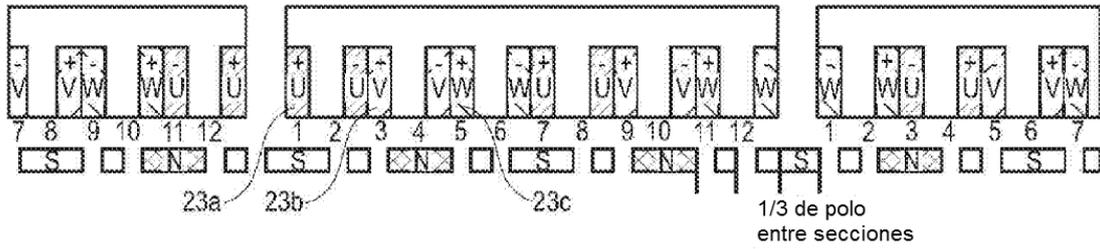


Fig. 40

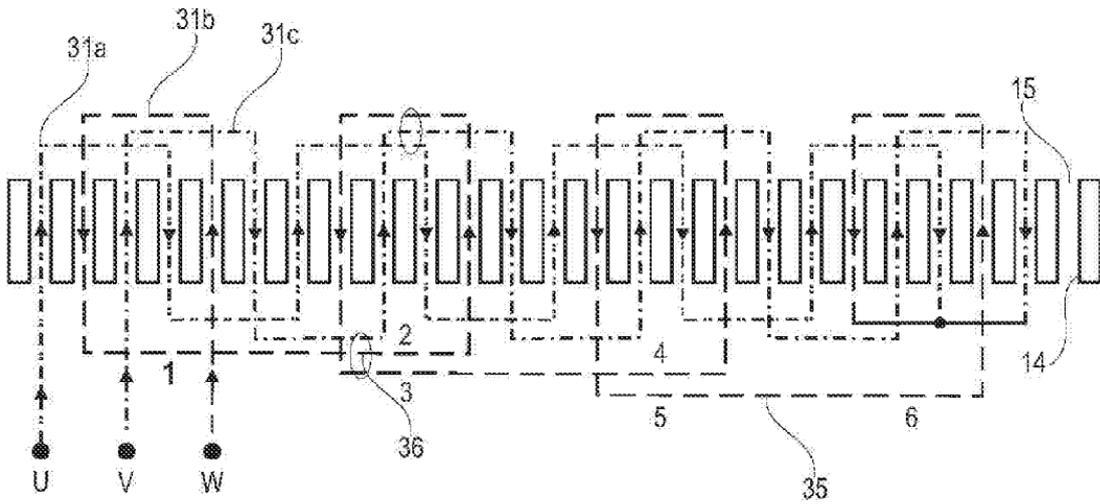


Fig. 41

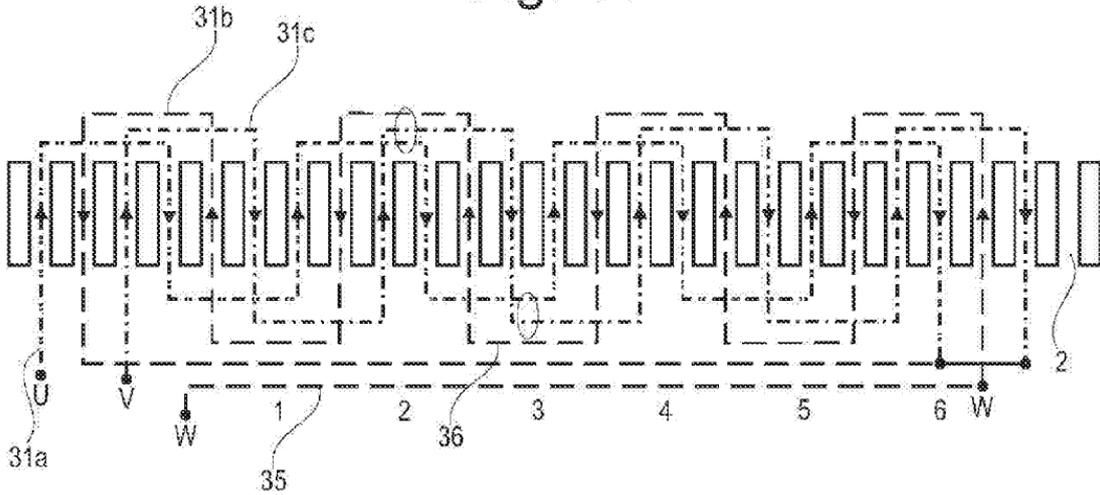
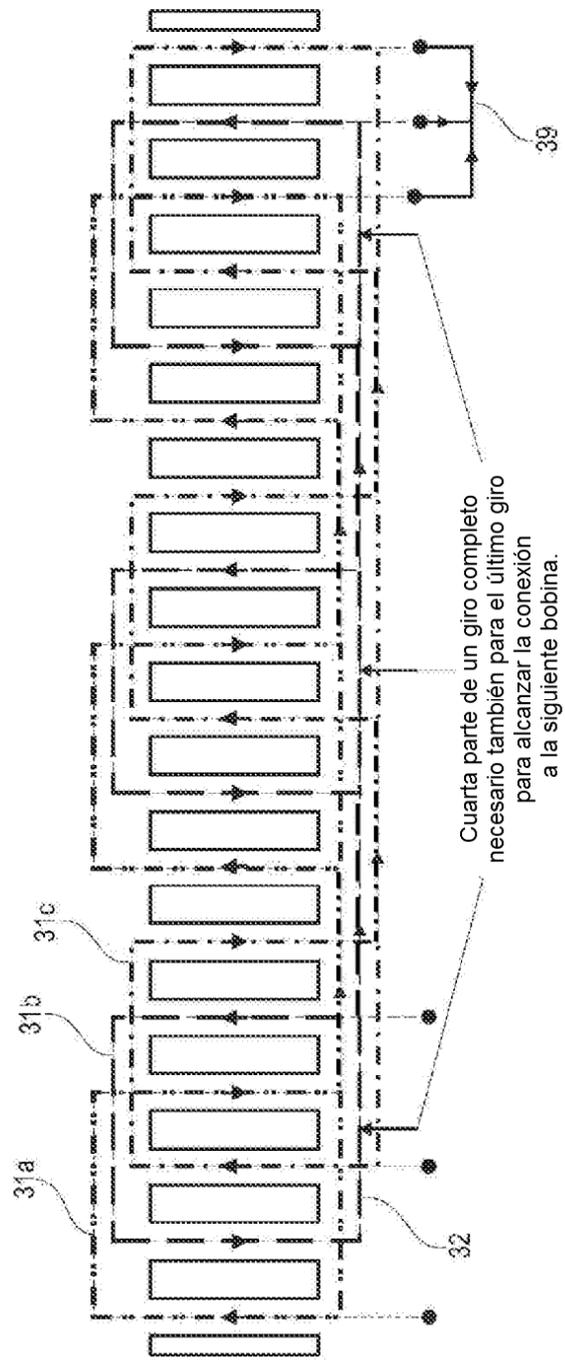
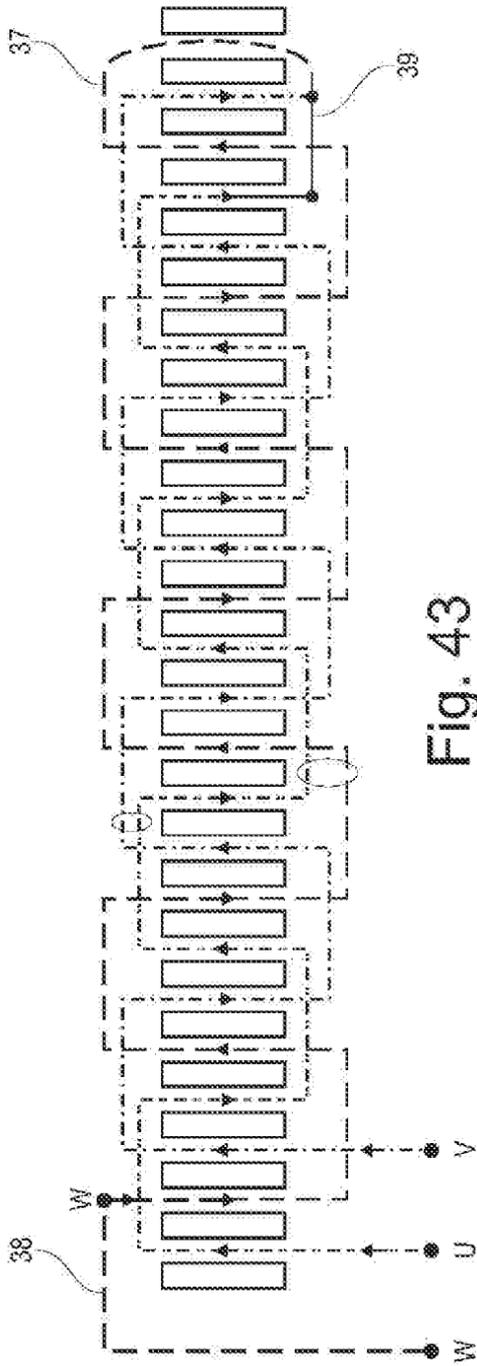


Fig. 42



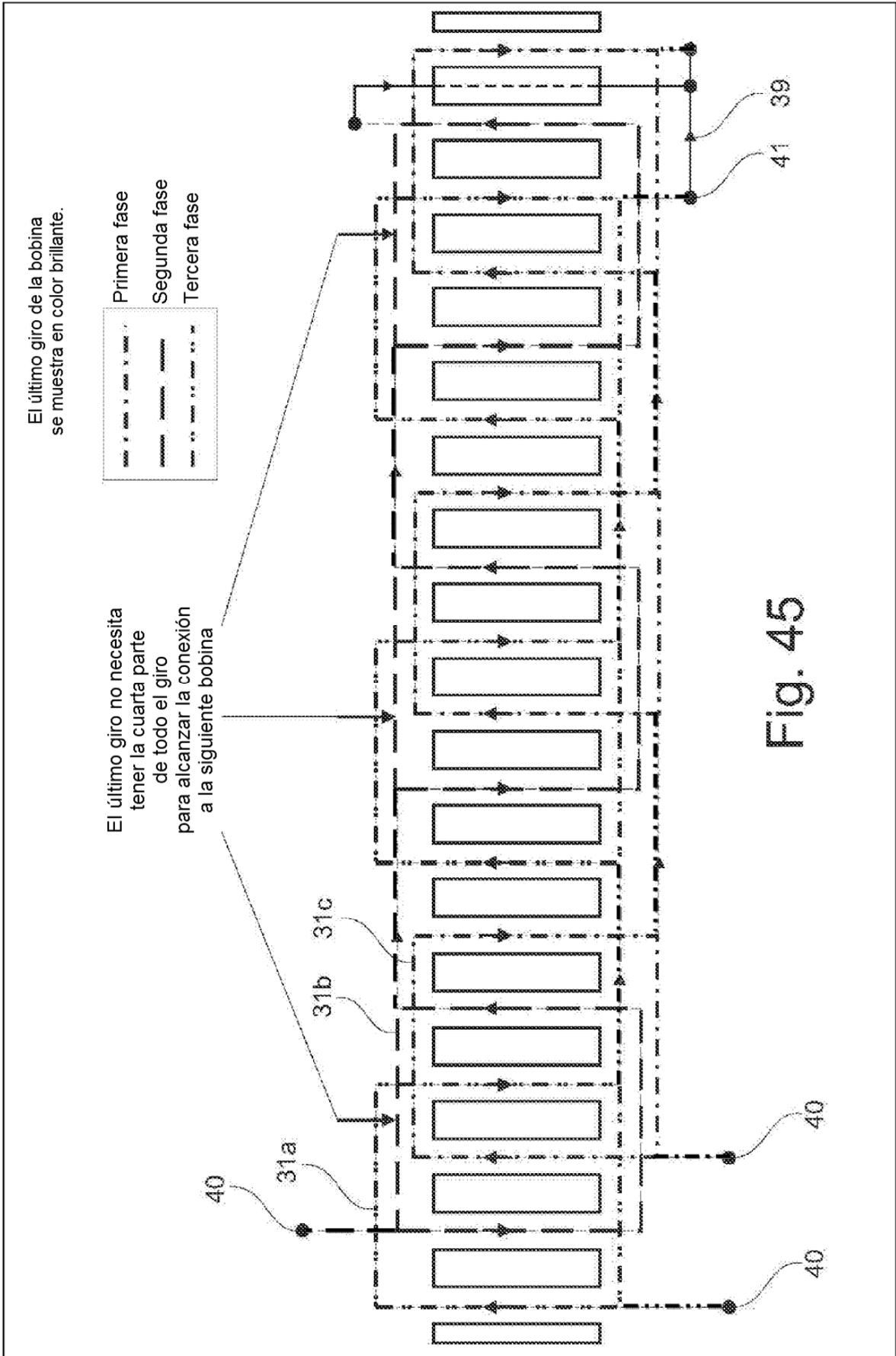


Fig. 45