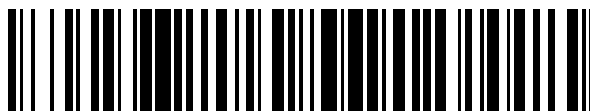


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 821**

51 Int. Cl.:

H02K 1/27

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.03.2010** **PCT/FI2010/000022**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.09.2010** **WO10109056**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2010** **E 10755480 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017** **EP 2412078**

54 Título: **Máquina eléctrica de imán permanente e imán permanente para una máquina eléctrica**

30 Prioridad:

25.03.2009 FI 20090115

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

26.12.2017

73 Titular/es:

ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

MANTERE, JUHANI;
RYYPPÖ, TOMMI y
SZUCS, ARON

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 647 821 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

Máquina eléctrica de imán permanente e imán permanente para una máquina eléctrica

5 El objeto de la invención es una máquina eléctrica según la parte de preámbulo de la reivindicación 1.

10 Los imanes permanentes se usan comúnmente para establecer un campo magnético en maquinaria eléctrica. En las máquinas eléctricas de imán permanente, se han instalado imanes permanentes en un rotor que está a una distancia de entrehierro desde el estator de la máquina eléctrica. Los imanes permanentes se usan para establecer un campo magnético, y el flujo magnético del campo pasa por el entrehierro hasta el estator. Los imanes permanentes se instalan o bien en la superficie del rotor, o bien dentro del bastidor magnéticamente conductor del rotor. El entrehierro entre el rotor y el estator puede ser paralelo al árbol de la máquina eléctrica, o perpendicular al árbol, en cuyo caso el entrehierro es radial. En máquinas eléctricas con un entrehierro radial, el rotor está o bien dentro o bien fuera del estator.

15 La invención se refiere particularmente a imanes permanentes instalados en superficie, y a máquinas eléctricas que se han magnetizado con imanes permanentes y que tienen un entrehierro radial. Un imán permanente consiste en una o más piezas de imán permanente en la dirección del árbol de la máquina eléctrica, y cada polo de la máquina eléctrica tiene una o más piezas de imán permanente paralelas próximas a la dirección circunferencial de la máquina eléctrica. La máquina eléctrica puede tener un rotor externo o un rotor interno, y los imanes permanentes se instalan en la superficie de rotor que está dirigida hacia el estator. La máquina eléctrica puede estar diseñada para funcionar o bien como generador o bien como motor. Además, la máquina eléctrica tiene un número considerablemente grande de polos, al menos diez, pero el número de polos puede ser de muchas docenas, hasta más de cien polos. El factor de ranura típico de la máquina eléctrica es de uno o dos.

25 En las máquinas eléctricas, en el entrehierro, el propósito es establecer una densidad de flujo magnético que varíe tan uniformemente como sea posible en la zona de polo magnético de la máquina eléctrica. La densidad de flujo magnético es máxima en el centro del polo magnético, disminuye de manera ideal según la curva sinusoidal cuando se mueve hacia el borde del polo, y es cero en el borde de polo. Si la distribución del flujo de entrada del entrehierro se desvía ampliamente de la forma sinusoidal pura, las ondas armónicas en la distribución provocan una vibración torsional. Particularmente en las máquinas eléctricas de imán permanente con un factor de ranura de uno o dos y con un gran número de polos, la marcha lenta crea un par de retención debido a la fluctuación de permeancia provocada por el diente del estator. Bajo una carga, la corriente que fluye en el arrollamiento del estator da como resultado un flujo que provoca una ondulación del par de torsión. El par de retención y la ondulación del par de torsión provocados por la corriente se suman bajo una carga. La directriz de dimensionamiento es que durante la marcha lenta, el par de retención puede no superar el 1% del par de torsión nominal. Por otro lado, bajo una carga nominal, la ondulación del par de torsión puede no superar el 2% del par de torsión nominal.

40 Los imanes permanentes potentes (tal como (imanes de NdFeBo [neodimio-hierro-boro]) a base de metales de tierras raras se usan comúnmente en máquinas eléctricas de imán permanente. Proporcionan preferiblemente un campo magnético suficiente, pero son relativamente frágiles, y es difícil, requiere mucho tiempo y es caro procesarlos para dar exactamente la forma pretendida.

45 La sujeción de imanes permanentes en la superficie curvada del rotor requiere procesamiento. O bien la superficie de rotor debe procesarse para hacerse recta pieza a pieza, o bien la superficie inferior del imán permanente debe procesarse para hacerse cóncava. Además del encolado usado para la instalación, los imanes permanentes a menudo tienen que sujetarse también con medios de sujeción entre los polos. Los medios de sujeción ocupan un espacio valioso del propio imán permanente en la dirección circunferencial del rotor.

50 El impacto de las dimensiones del imán permanente sobre el rendimiento de la máquina eléctrica es un problema complicado, en el que varios factores afectan al resultado, a menudo de manera conflictiva. Por tanto, un resultado óptimo es el efecto combinado de muchos factores.

55 Una máquina eléctrica de imán permanente se conoce previamente de la solicitud de patente JP 01-234038, en la que se han instalado imanes permanentes, cuya sección transversal tiene la forma de un hexágono, en la superficie de rotor. La circunferencia externa del rotor se ha procesado para hacerse recta en los polos, en cuyo caso la sección transversal del bastidor del rotor es un polígono. Los imanes permanentes se han conformado de modo que hay una sección central recta en la superficie superior del imán permanente. La sección central es tan pequeña como sea posible con el fin de conseguir un par de retención mínimo.

60 La solicitud de patente estadounidense US 2006/220483 da a conocer una máquina eléctrica con imanes permanentes en un rotor. Los bordes de las piezas de imán permanente están ligeramente biselados, de modo que los cuerpos de retenedor tienen partes homólogas para sus superficies en ángulo que se apoyan contra los bordes de las piezas de imán permanente. La parte central de los imanes permanentes tiene una superficie recta.

65

La solicitud de patente estadounidense US 2002/063492 da a conocer una máquina eléctrica con imanes permanentes en un rotor, en la que las piezas de imán permanente están ligeramente biseladas con el fin de proporcionar una distribución más suave del flujo magnético en el borde de la pieza de imán permanente.

5 El propósito de la invención es desarrollar una nueva solución de estructura de imán permanente y un nuevo rotor de imán permanente, en el que los problemas mencionados anteriormente se hayan eliminado, que sea barato de fabricar y que cumpla con los requisitos de la máquina eléctrica tanto durante la marcha lenta como bajo una carga. Con el fin de conseguir esto, la máquina eléctrica de imán permanente se caracteriza por las características especificadas en la sección de características de la reivindicación 1. Las características de algunas realizaciones
10 preferidas de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

La solución según la invención conseguirá simultáneamente tanto la distribución sinusoidal requerida del flujo de entrehierro, como la fabricación y el acabado baratos de los imanes permanentes. Garantizar la sinusoidalidad es particularmente importante en las máquinas eléctricas multipolares, en las que el factor de ranura del arrollamiento
15 (el número de hendiduras por polo y fase) es de uno o dos. En estos casos se enfatiza el impacto dañino de los armónicos de ranura. Es técnicamente difícil fabricar un imán permanente que sea puramente sinusoidal con respecto a su superficie superior. En su lugar, es relativamente fácil procesar tres superficies planas rectas. El número de etapas de trabajo no aumenta esencialmente, dado que la superficie del imán permanente tiene que acabarse en cualquier caso para dar su forma pretendida tras la compresión.

20 Para poder sujetar de manera fiable los imanes permanentes instalados en la superficie externa del rotor, la superficie inferior del imán permanente y la superficie externa del núcleo del rotor tienen que ser compatibles. Debido a su gran tamaño, las máquinas eléctricas con un gran número de polos y con un diámetro grande son difíciles de manejar y de procesar, de modo que pueda conseguirse una superficie recta en las mismas. Por otro
25 lado, el material del imán permanente es frágil y por tanto difícil de procesar para dar una forma curvada precisa. Según una realización de la invención, se instala una arandela entre la superficie circunferencial del rotor y el imán permanente. La superficie inferior de la arandela se corresponde con la forma de la superficie de rotor, y la superficie superior contra el imán permanente es recta.

30 El método según la invención tanto tiene en cuenta la magnitud del par de torsión de los armónicos de ranura tanto durante la marcha lenta como bajo una carga, como minimiza su impacto, de modo que no se exceden los requisitos de la máquina eléctrica en ninguna situación.

35 Según una realización preferida, el imán permanente se instala con dispositivos de conexión, y las lengüetas de conexión de los dispositivos se extienden por la superficie superior de los imanes permanentes. La disposición es fácil de implementar y no requiere procesamiento ni conformación adicional de la pieza de imán permanente. Es posible minimizar la cantidad de material posiblemente eléctricamente conductor en la misma zona de entrehierro.

A continuación se describirá la invención en detalle haciendo referencia a los dibujos, en los que:

- 40 - la Figura 1 es una ilustración parcial de una máquina eléctrica según la invención,
- la Figura 2 es una ilustración parcial de una segunda máquina eléctrica según la invención,
45 - la Figura 3 es una ilustración parcial de una tercera máquina eléctrica según la invención,
- la Figura 4 ilustra las fluctuaciones de par de retención y las fluctuaciones de ondulación del par de torsión en función del bisel del imán,
50 - la Figura 5 ilustra las fluctuaciones de par de retención y las fluctuaciones de ondulación del par de torsión en función del grosor del imán,
- la Figura 6 ilustra las fluctuaciones de par de retención y las fluctuaciones de ondulación del par de torsión en función de la anchura del imán,
55 - la Figura 7 ilustra las fluctuaciones de par de retención y las fluctuaciones de ondulación del par de torsión en función de la anchura de la zona central del imán.

60 La Figura 1 es una ilustración parcial de una máquina síncrona de imán permanente, en la que el rotor 4 está dentro del estator 2 a la distancia del entrehierro δ desde el estator. El estator se ha fabricado de placas magnéticamente conductoras, y se han formado ranuras 3 en el mismo para los arrollamientos de estator (no ilustrados). Los dientes de estator 5 están entre las ranuras. En este caso, el número de ranuras por polo por fase de la máquina eléctrica es uno, lo que significa que una máquina trifásica tiene tres ranuras por polo. El rotor consiste en el bastidor magnético del rotor que se ha formado a partir de láminas magnéticamente conductoras, por ejemplo apilándolas como un
65 paquete de láminas que tiene la longitud del rotor. El bastidor magnético del rotor se ha sujetado, directamente o por medio del centro del rotor, sobre el árbol de la máquina síncrona, que se ha equipado con un cojinete para el

bastidor de la máquina eléctrica de manera ampliamente conocida. Según el número de polos de la máquina síncrona, varios imanes permanentes 8, que comprenden los polos magnéticos del rotor, se han sujetado sobre la circunferencia externa 6 del bastidor magnético del rotor. En la dirección longitudinal de la máquina síncrona hay varios imanes permanentes 8 separados, de modo que cubren esencialmente la longitud de todo el rotor. Los imanes permanentes 8 incluyen la superficie inferior 10 que está contra la arandela 12 instalada en la superficie externa del bastidor magnético del rotor. La superficie inferior de la arandela 12 está ligeramente curvada, de manera correspondiente a la curvatura de la circunferencia externa 6 del bastidor magnético del rotor. La arandela 12 tiene una superficie superior recta, y el imán permanente está contra la superficie. La superficie superior del imán permanente 8 contra el entrehierro δ y el estator consiste en tres partes, la parte central 14 y dos partes laterales 16 y 18. La parte central 14 de la superficie superior es esencialmente paralela a la superficie inferior 10 del imán permanente, lo que significa que el imán permanente tiene un grosor uniforme en la parte central 14. En la parte central 14 del imán permanente, la distancia entre la superficie interna del estator y el imán permanente (es decir, la longitud de entrehierro D de la máquina) es esencialmente igual. Sólo la curvatura de la superficie interna del estator cambia ligeramente el entrehierro en la parte central 14 del imán permanente, pero su impacto es mínimo en una máquina multipolar con un diámetro grande. Las partes de borde 16 y 18 de la superficie superior del imán permanente se han biselado ligeramente en el ejemplo en la Figura 1, de modo que el grosor del imán permanente en el borde es aproximadamente un cuarto menor que en la parte central. La distancia entre la parte de borde del imán permanente y la superficie interna del estator es 2D; es decir, dos veces el entrehierro en el imán permanente. La longitud de la parte central del imán permanente en la dirección circunferencial de la máquina puede variar en cada máquina.

Se han instalado dispositivos de conexión 20 a ambos lados de los imanes permanentes 8. Los dispositivos tienen lengüetas de conexión 22, que se extienden por las partes de borde 16 y 18 de los imanes permanentes. Las lengüetas de conexión 22 presionan los imanes permanentes contra la superficie de rotor. Preferiblemente, los imanes permanentes se han encolado sobre la arandela que está encolada sobre la superficie de rotor. En su sección central 24, los dispositivos de conexión se han sujetado con pernos 26 al bastidor de rotor. El dispositivo de conexión está hecho de un material no magnético, tal como aluminio o acero, o un material compuesto adecuado. La parte central del dispositivo de conexión 20 es ligeramente más estrecha que el espacio que queda entre los imanes permanentes. Además, el borde 28 del dispositivo de conexión está ligeramente inclinado con respecto al borde vertical 9 del imán permanente 8. En este caso, queda un hueco entre la lengüeta de conexión y la superficie vertical del borde del imán permanente, lo que hace más fácil la instalación y deja libre la superficie de borde del imán permanente. El dispositivo de conexión preferiblemente es ligeramente flexible. El dispositivo de conexión 20 y su perno de sujeción 26 son tan bajos como sea posible, de modo que la zona de entrehierro permanezca libre. Esto mejora el flujo de aire de enfriamiento entre los imanes permanentes.

La Figura 2 ilustra otra realización según la invención, con una máquina síncrona de imán permanente implementada con un rotor externo. El estator se ha fabricado de placas magnéticamente conductoras, y se han formado ranuras 33 en el mismo para los arrollamientos de estator (no ilustrados). Los dientes de estator 55 están entre las ranuras. En este caso, el número de ranuras por polo por fase de la máquina eléctrica es dos, lo que significa que una máquina trifásica tiene seis ranuras por polo. El rotor 34 está fuera del estator 32, a la distancia del entrehierro δ desde el estator. El rotor consiste en el bastidor magnético del rotor que se ha formado a modo de círculo para rodear el estator 32, y se ha hecho de láminas magnéticamente conductoras, por ejemplo apilándolas como un paquete de láminas que tiene la longitud del rotor. El rotor 34 se ha equipado con un cojinete para el bastidor de la máquina eléctrica de manera ampliamente conocida. Según el número de polos de la máquina síncrona, varios imanes permanentes 38, que comprenden los polos magnéticos del rotor, se han sujetado sobre la circunferencia interna 36 del bastidor magnético del rotor. En la dirección longitudinal de la máquina síncrona, hay varios imanes permanentes 38 separados, de modo que cubren esencialmente la longitud de todo el rotor. Los imanes permanentes 38 incluyen la superficie inferior 40 que está contra la arandela 42 instalada en la superficie interna del bastidor magnético del rotor. La superficie inferior de la arandela 42 contra el rotor está ligeramente curvada, de manera correspondiente a la curvatura de la circunferencia interna 36 del bastidor magnético del rotor. La arandela 42 tiene una superficie superior recta, y el imán permanente está contra la superficie. La superficie superior del imán permanente 38 contra el entrehierro δ y el estator 32 consiste en tres partes: la parte central 44 y dos partes laterales 46 y 48. La parte central 44 de la superficie superior es esencialmente paralela a la superficie inferior 40 del imán permanente, lo que significa que el imán permanente tiene un grosor uniforme en la parte central 44. En este caso, el imán permanente unipolar 38 incluye tres piezas paralelas en la dirección circunferencial de la máquina eléctrica, la pieza 41 en el centro y las piezas 43 en los bordes. La sección transversal de la pieza 41 es un rectángulo, y las secciones transversales de las piezas 43 son trapezoides. En la parte central 44 del imán permanente, la distancia entre la superficie interna del estator y el imán permanente, es decir, la longitud de entrehierro D de la máquina es esencialmente igual. Sólo la curvatura de la superficie externa del estator cambia ligeramente el entrehierro en la parte central 44 del imán permanente, pero su impacto es mínimo en una máquina multipolar con un diámetro grande. Las partes de borde 46 y 48 de la superficie superior del imán permanente se han biselado ligeramente en el ejemplo en la Figura 2, de modo que el grosor del imán permanente en el borde es aproximadamente un cuarto menor que en la parte central. La distancia entre la parte de borde del imán permanente y la superficie externa del estator es 2D; es decir, dos veces el entrehierro en la parte central del imán permanente. La longitud de la parte central del imán permanente en la dirección circunferencial de la máquina puede variar en cada máquina.

La superficie superior dirigida hacia el estator del imán permanente y el entrehierro está recubierta con una capa protectora 45, que se extiende al menos por la parte central y las partes de borde de la superficie superior. La capa protectora 45 también puede cubrir la superficie vertical 39 del borde del imán permanente. La capa protectora 45 actúa como refuerzo mecánico y protección mecánica, y protección frente a la corrosión para el imán permanente relativamente frágil 38. Además, la capa protectora proporciona aislamiento térmico, impidiendo que los imanes permanentes se calienten como resultado del calor del estator. De esta manera, la temperatura operativa de los imanes permanentes permanece dentro de los valores nominales, en cuyo caso su eficiencia es la mejor. Además pueden usarse imanes permanentes de una clase térmica inferior, lo que reduce los costes. El material preferible de la capa protectora 45 es no magnético y eléctricamente no conductor, tal como un material compuesto adecuado.

Se han instalado dispositivos de conexión 50 a ambos lados de los imanes permanentes 38. Los dispositivos tienen lengüetas de conexión 52, que se extienden por las partes de borde 46 y 48 de los imanes permanentes. En su sección central 54, los dispositivos de conexión se han sujetado con pernos 56 al bastidor de rotor. El perno de sujeción 56 se extiende a través del bastidor de rotor. En la parte central 54 del dispositivo de conexión se ha formado un agujero roscado (el perno de sujeción 56 se enrosca en el agujero). El dispositivo de conexión está hecho de un material no magnético, tal como aluminio o acero, o un material compuesto adecuado. La parte central del dispositivo de conexión 50 es ligeramente más estrecha que el espacio que queda entre los imanes permanentes. Además, el borde 58 del dispositivo de conexión está ligeramente inclinado con respecto al borde vertical 39 del imán permanente 38. En este caso, queda un hueco entre la lengüeta de conexión y la superficie vertical del borde del imán permanente, lo que hace más fácil la instalación y deja libre la superficie de borde del imán permanente. Como la cabeza del perno de sujeción 56 está fuera del rotor, la superficie interna del dispositivo de conexión entre las lengüetas permanece libre. Esto mejora el flujo de aire de enfriamiento entre los imanes permanentes.

La Figura 3 ilustra la tercera realización de la invención y, cuando sea aplicable, se han usado los mismos números de referencia para las mismas partes que en las Figuras 1 y 2. La superficie externa del rotor y la posición de los imanes permanentes se han ilustrado como aplanadas con el fin de aclarar las dimensiones presentadas posteriormente. Las piezas de imán permanente se han formado de modo que su anchura es aproximadamente el 85% de la distribución de polo, en cuyo caso la anchura del imán permanente se corresponde con aproximadamente 150 grados eléctricos. La superficie horizontal de la parte superior del imán permanente es aproximadamente el 50% de la distribución de polo, lo que se corresponde con aproximadamente 90 grados eléctricos.

La Figura 3 usa la marca de referencia B1 para indicar la anchura del imán permanente en la dirección circunferencial del rotor, y la marca de referencia B2 para indicar la anchura de la parte horizontal de la parte superior del imán permanente. De manera correspondiente, H1 se refiere al grosor (altura) del imán permanente, y H2 se refiere a la profundidad del bisel del imán permanente en el borde del imán permanente. En función de estos valores, las Figuras 4 a 7 ilustran la fluctuación de par de retención durante la marcha lenta y de manera correspondiente la ondulación del par de torsión bajo una carga.

En el ejemplo en la Figura 3, los imanes permanentes se han sujetado al núcleo del rotor por medio de la barra de fijación 60 y los pernos 62 incorporados en la barra. Los imanes permanentes 38 se han sujetado a la arandela 42, y la capa protectora 45 se ha instalado sobre los mismos. La arandela 42 es ligeramente más ancha que el imán permanente 38, y la barra de sujeción 62 presiona contra la misma, sujetando los imanes permanentes al rotor.

El gráfico 70 en la Figura 4 ilustra la fluctuación de par de retención durante la marcha lenta en función de la profundidad H2 del bisel, y el gráfico 72 ilustra el cambio de ondulación del par de torsión cuando la máquina eléctrica está bajo una carga. Los pares de torsión son valores pico a pico y valores relativos; es decir, porcentajes del par de torsión nominal. El gráfico 74 en la Figura 5 ilustra la fluctuación de par de retención durante la marcha lenta en función del grosor H1 del imán permanente, y el gráfico 76 ilustra el cambio de ondulación del par de torsión cuando la máquina eléctrica está bajo una carga.

De manera correspondiente, el gráfico 80 en la Figura 6 ilustra la fluctuación de par de retención durante la marcha lenta en función de la anchura B1 del imán permanente, y el gráfico 82 ilustra el cambio de ondulación del par de torsión cuando la máquina eléctrica está bajo una carga. El gráfico 84 en la Figura 7 ilustra la fluctuación de par de retención durante la marcha lenta en función de la parte superior uniforme B2 del imán permanente, y el gráfico 86 ilustra el cambio de ondulación del par de torsión cuando la máquina eléctrica está bajo una carga.

En las Figuras 4 a 7, puede verse que las condiciones para mantener el par de retención durante la marcha lenta y la ondulación del par de torsión bajo una carga dentro de los límites permitidos son parcialmente conflictivas, lo que significa que cambiar una dimensión del imán permanente basándose en un criterio da como resultado una situación peor con respecto a otro criterio. Según la invención, los valores del par de retención y de la ondulación del par de torsión se calcularán para varias dimensiones diferentes y entonces se elegirá una alternativa que cumpla ambas condiciones.

Las realizaciones presentadas en las Figuras 1, 2 y 3 ilustran algunas realizaciones preferidas que se usarán para implementar la idea de la invención. Son posibles varias soluciones alternativas, tal como reemplazar mutuamente las partes correspondientes en las Figuras 1 y 2. Debe observarse especialmente que en el caso de un rotor tanto externo como uno interno, el imán permanente puede ser completamente idéntico tanto en dimensiones como en forma. Por tanto, las lengüetas de conexión y sus pernos de sujeción son intercambiables, y, por ejemplo, el perno de sujeción que pasa a través del bastidor del rotor de la figura puede usarse en el caso de un rotor interno, cuando el rotor tiene una estructura hueca. Los dispositivos de conexión de los imanes permanentes pueden comprender dispositivos separados que se corresponden con imanes permanentes adyacentes, o dispositivos que conectan muchos pares de imanes permanentes consecutivos en la dirección del árbol.

En lo anterior, la invención se ha descrito con ayuda de ciertas realizaciones. Sin embargo, la descripción no debe considerarse como que limita el alcance de protección de la patente; las realizaciones de la invención pueden variar dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Una máquina eléctrica con un imán permanente (8) que incluye una superficie inferior (10) que puede disponerse en la circunferencia externa (6) del rotor (4), y una superficie externa (14,16,18) que está dirigida hacia el entrehierro (δ) de la máquina eléctrica, comprendiendo la superficie externa (14,16,18) del imán permanente (8) partes de borde (16,18) y una parte central (14), mediante lo cual el imán permanente tiene un grosor uniforme en la parte central (14), y con respecto a la parte de borde (16,18), el grosor del imán permanente disminuye uniformemente hacia el borde del imán permanente, caracterizada porque la diferencia en el grosor del imán permanente en la parte central y en el borde es igual al entrehierro (δ) de la máquina eléctrica, y porque la anchura de la parte central es igual a o mayor que la anchura combinada de las partes de borde.
- 2.- Una máquina eléctrica según la reivindicación 1, caracterizada porque al menos la superficie superior del imán permanente dirigida hacia el entrehierro se ha recubierto con una capa protectora (45).
- 3.- Una máquina eléctrica según cualquier reivindicación 1 ó 2, caracterizada porque pueden instalarse dispositivos de conexión (20,22) en el imán permanente (8), dispositivos de conexión (20,22) que se corresponden con las partes de borde (16,18) de imán y dispositivos de conexión (20,22) con los que puede sujetarse el imán permanente (8) a una máquina eléctrica.
- 4.- Una máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada porque se ha instalado una arandela (12) entre el imán permanente (8) y la circunferencia cilíndrica del rotor (4), y porque la superficie inferior de la arandela (12) se corresponde con la superficie circunferencial (6) del rotor, y la superficie superior de la arandela (12) es recta.
- 5.- Una máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque la anchura de la zona central (14) del polo en la dirección de la tangente es de desde 60 hasta 100 grados eléctricos.
- 6.- Una máquina eléctrica según la reivindicación 5, caracterizada porque la anchura de la zona central (14) del polo en la dirección de la tangente es de desde 70 hasta 90 grados eléctricos.
- 7.- Una máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada porque el número de polos de la máquina eléctrica es de más de 10.
- 8.- Una máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada porque el número de ranuras por polo por fase de la máquina eléctrica es uno o dos.
- 9.- Una máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada porque la máquina eléctrica tiene un entrehierro radial y un rotor externo (34).
- 10.- Una máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada porque la máquina eléctrica tiene un entrehierro radial y un rotor interno (4).

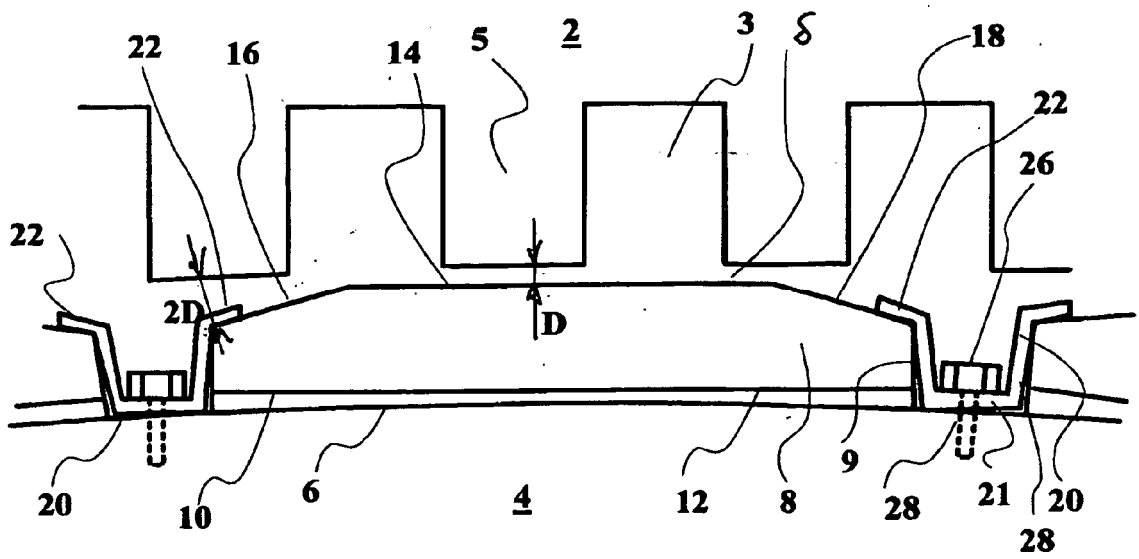


Fig. 1

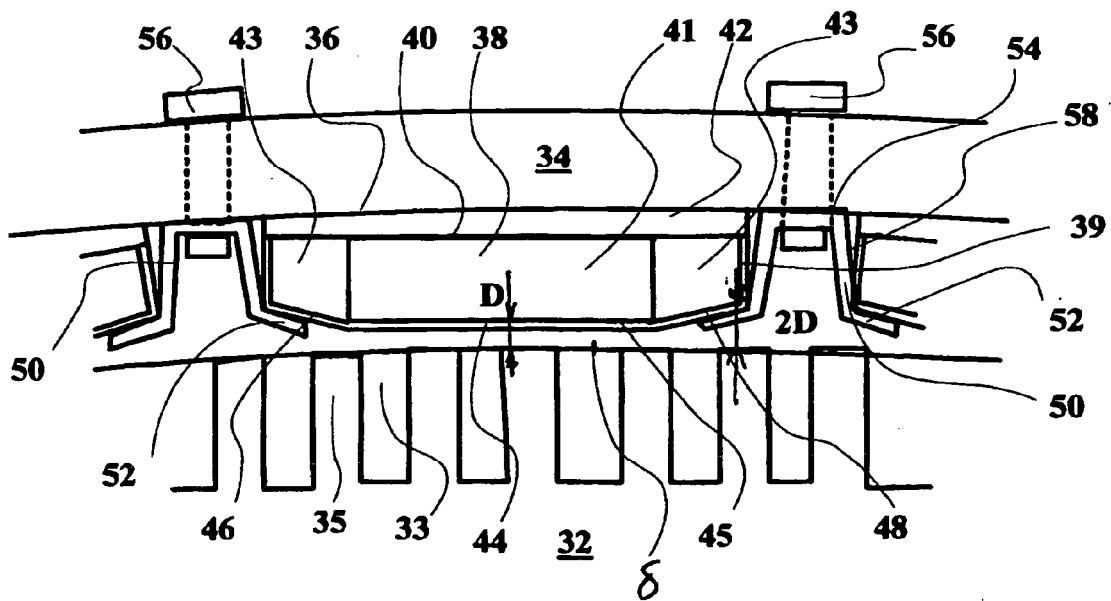


Fig. 2

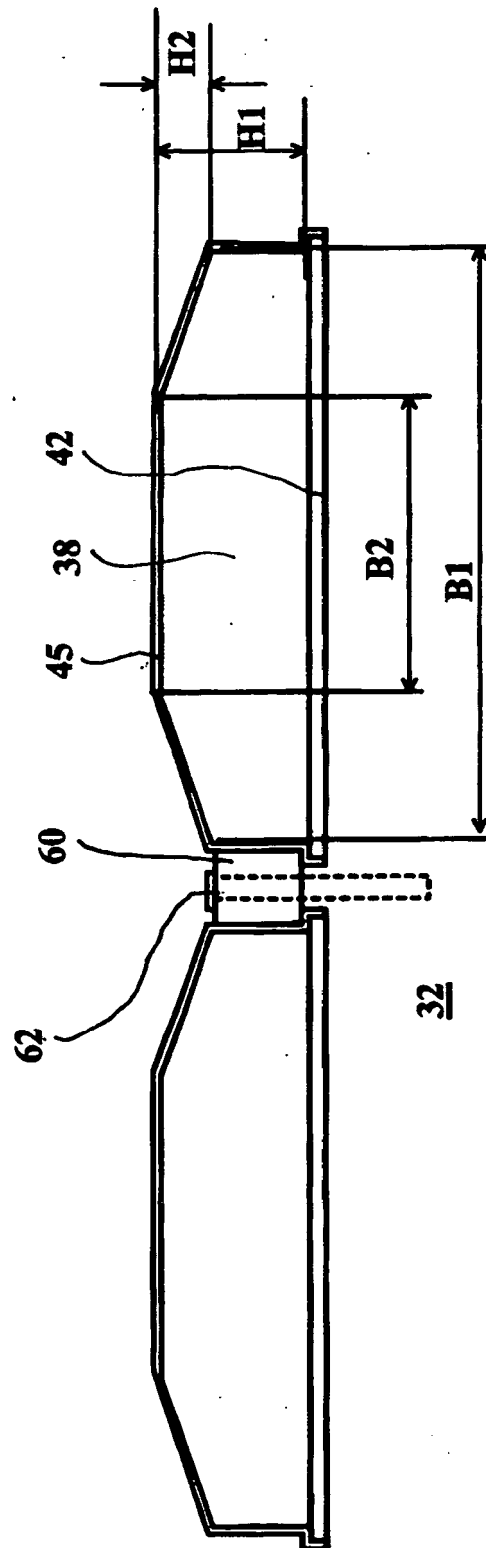


Fig. 3

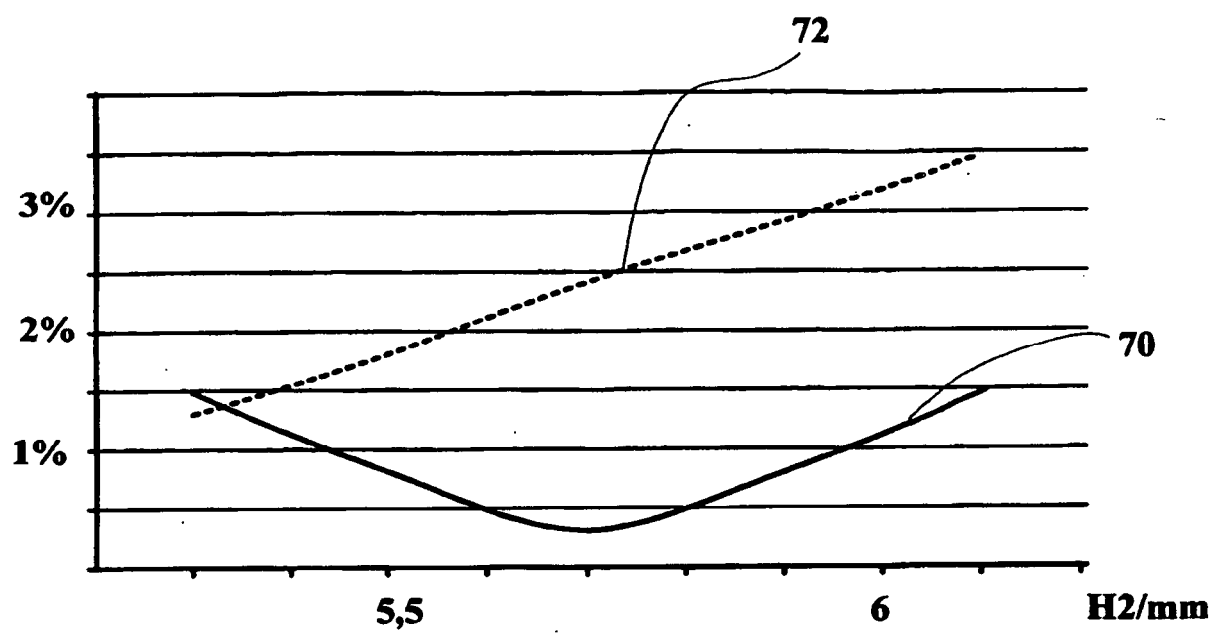


Fig. 4

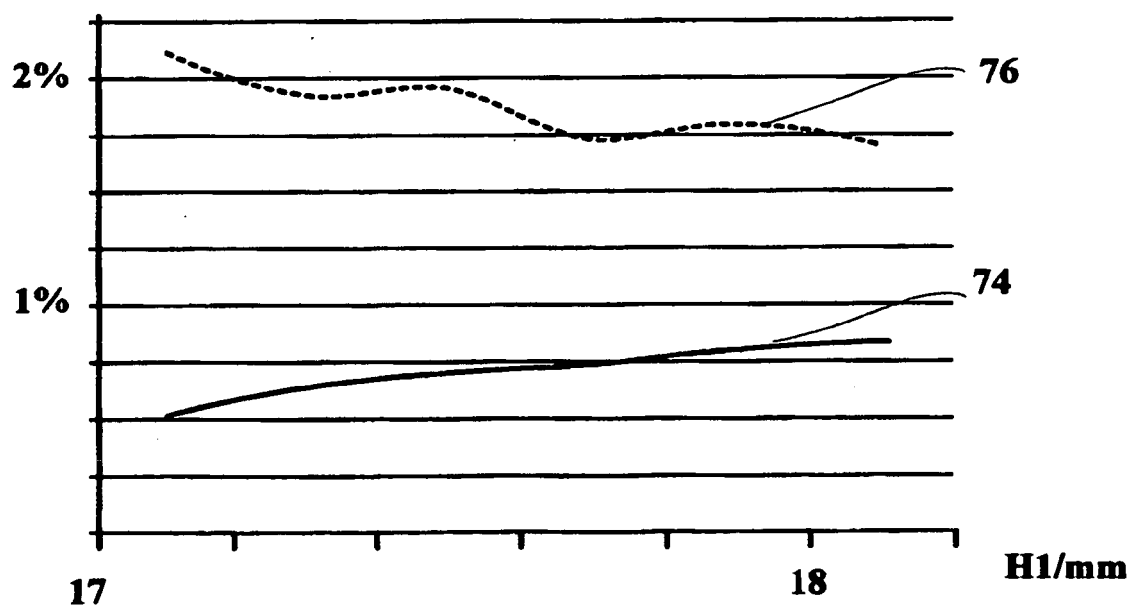


Fig. 5

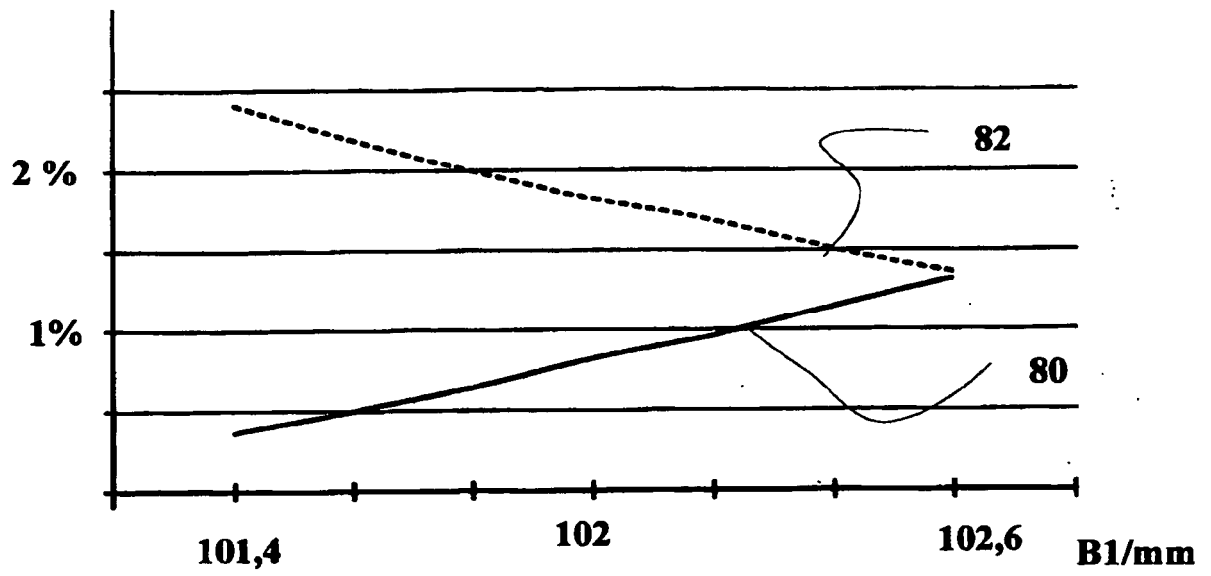


Fig. 6

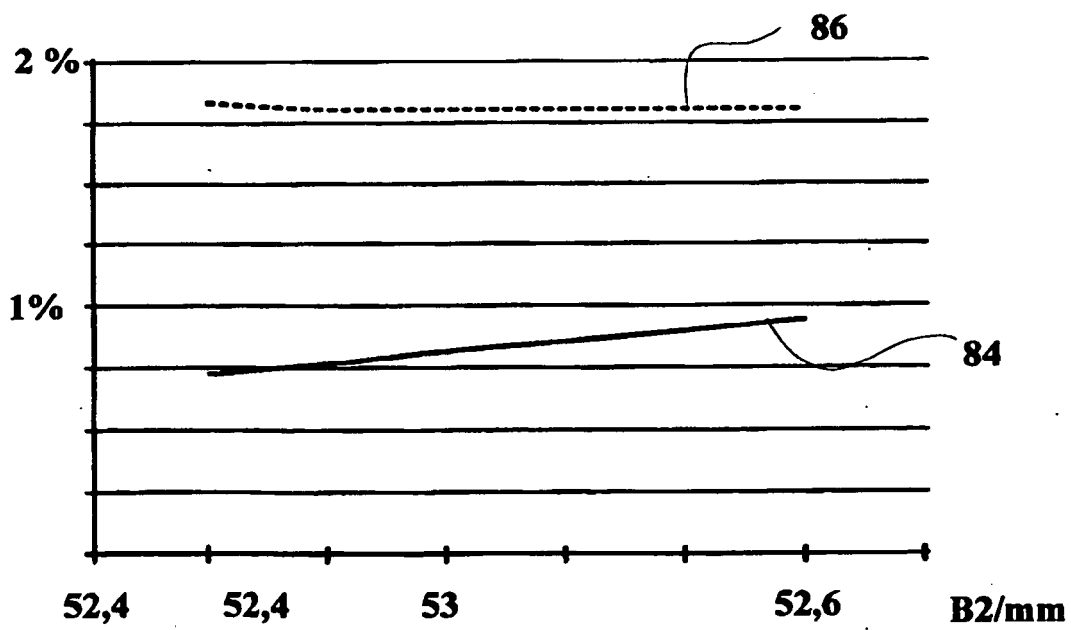


Fig. 7