



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 304 082**

⑫ Número de solicitud: 200600233

⑬ Int. Cl.:
H02K 1/27 (2006.01)
H02K 19/10 (2006.01)
H02K 21/14 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **02.02.2006**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **01.09.2008**

Fecha de la concesión: **22.06.2009**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **06.07.2009**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
06.07.2009

⑲ Titular/es: **SOLUCIONES ENERGÉTICAS, S.A.**
Avda. Real de Pinto, 146 - Salida 7, M-45
28021 Madrid, ES

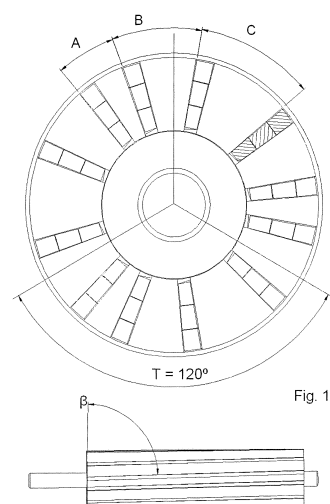
⑳ Inventor/es: **Vela Vico, Antonio**

㉑ Agente: **Urizar Anasagasti, Jesús María**

㉒ Título: **Máquina eléctrica giratoria, de bajo rizado de par.**

㉓ Resumen:

Máquina eléctrica giratoria, de bajo rizado de par, en la que la parte magnética, ya sea el rotor o el estator, está dividida en T partes iguales, cada una de las cuales se divide a su vez en N sectores, que se corresponden con los polos magnéticos de la máquina, que tienen diferentes dimensiones angulares de forma que la distribución radial es asimétrica, seleccionándose dichas dimensiones angulares entre aquellas que consiguen la mayor reducción de los armónicos, manteniendo el equilibrio dinámico de la máquina.



ES 2 304 082 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Máquina eléctrica giratoria, de bajo rizado de par.

5 **Objeto de la invención**

El objetivo de esta invención conseguir un motor-generador de elevado rendimiento, bajo consumo, alto par y bajo rizado de par, utilizando para ello una distribución asimétrica de materiales ferromagnéticos y paramagnéticos. Esta máquina eléctrica funciona en principio como motor, pero también es susceptible de funcionar como generador de corriente eléctrica en aplicaciones tales como generadores eólicos, y al tratarse de una máquina reversible también puede funcionar, por ejemplo en un aparato elevador, como motor o como generador cuando la carga de bajada es mayor que el contrapeso.

Existe una gran variedad de máquinas eléctricas, en todas ellas es necesaria la concurrencia de un campo magnético y que éste se mueva con respecto a una corriente eléctrica que pasa a través de una bobina. Si se proporciona corriente a la bobina se obtiene un movimiento y por tanto se trata de un motor; si por el contrario se imprime movimiento al campo magnético se obtiene corriente eléctrica, por lo que estaríamos ante un generador. Dicho campo magnético puede estar generado por unas bobinas electromagnéticas, o mediante imanes permanentes; en el caso que nos ocupa se trata de imanes permanentes. Las máquinas eléctricas síncronas son máquinas en las que el campo magnético gira a una velocidad constante (síncrona) y en correspondencia con la velocidad de rotación del campo magnético; en este tipo de máquinas los imanes permanentes se colocan axialmente en el rotor cilíndrico, que dispone del número de imanes necesarios para conformar los polos de la máquina. Normalmente, los imanes presentan un polo de un signo en la parte más exterior del rotor y el contrario en la parte más interior y están salteados para proporcionar los polos "N" y "S" de la máquina.

En una máquina de estas características, rodeando al rotor se encuentra el estator, que es liso y con un número indeterminado de ranuras para alojar las bobinas. A éstas se les alimenta mediante un sistema trifásico de corrientes para proporcionar un campo magnético giratorio que interactúa con el del rotor para producir finalmente el movimiento del motor.

El uso de imanes permanentes en máquinas electromagnéticas es muy favorable para el medio ambiente en comparación con los bobinados eléctricos ya que no hay pérdidas energéticas, no requieren aislamiento, y no tienen que ser refrigerados. Ahora bien, en las máquinas de imanes permanentes, debido a la interacción del campo magnético producido por estos imanes con los dientes y ranuras del inducido, se produce un efecto de bloqueo del rotor. Este bloqueo origina en los motores y generadores un funcionamiento irregular en régimen normal, y durante el arranque un par interno resistente al arranque, que se superpone al par resistente de la carga. De una forma elemental se puede explicar que el bloqueo se produce debido a la propiedad de los campos magnéticos de alcanzar el equilibrio en aquellas posiciones en las que la energía magnética es mínima. En una posición en la que los polos están enfrentados la energía del campo magnético es mínima y cualquier intento de desplazamiento del rotor hacia la izquierda o hacia la derecha, hace aumentar la energía magnética, por lo que el sistema tiende a buscar la posición en la que la energía magnética es mínima, originándose en consecuencia un par que tiende a colocar el rotor en esta posición.

Como se ha indicado anteriormente el objetivo de la presente invención es una máquina eléctrica de elevado rendimiento, con un par alto y de escaso cogging, que prácticamente carece de fluctuaciones en el par.

45 **Antecedentes de la invención**

Para que el par sea lo más continuo posible es necesario que no haya armónicos bajos en la curva de par; de manera que las fluctuaciones, si las hubiera, fueran de alta frecuencia y probablemente, sin efecto apreciable sobre el par medio. Por tanto, se ha de conseguir que la forma de onda de la fuerza magnetomotriz de la máquina tenga el menor número de armónicos posible y con una forma sinusoidal perfecta; para que se reduzcan al mínimo posible las fluctuaciones de par.

Para eliminar en lo posible la fluctuación de par debida a los efectos de los armónicos en la onda de fuerza magnetomotriz se emplean diversas soluciones: aumentar el entrehierro, utilizar un número fraccionario para la relación ranuras/polos, elegir un número elevado de ranuras y polos, utilizar dientes espesos para prevenir la saturación, mantener la abertura de las ranuras al mínimo posible, diseñar los estatores o los imanes con sesgo, minimizar o biselar los polos magnéticos, redondear o biselar los dientes de estator, o efectuar agujeros en éstos, usar dientes bifurcados, utilizar una densidad de flujo magnético baja o compensar el cogging modulando la corriente del estator convenientemente. (HENDERSON J.R.; MILLER, T.JE. *Design of permanent-magnet motors*. Oxford: Magna Physics and Clarendon Press, 1994).

(E. Muljadi and J. Green To be presented at the 21st American Society of Mechanical Engineers Wind Energy Symposium Reno, Nevada January 14-17, 2002).

(DEODHAR, R.P., STATON, D.A., JAHNS, T. M., MILLER, T.JE.: "Prediction of Cogging Torque using the Flux-MMF Diagram Technique", IEEE Trans. IAS, Vol. 32, No. 3, May/June, 1996).

Descripción de la invención

La máquina eléctrica giratoria que se describe en esta invención presenta un menor contenido de armónicos. Ello es posible al dividir el rotor, o el estator, en T partes iguales, siendo T un número entero entre 2 y ∞ (caso de motores lineales), y cada una de estas partes iguales se divide a su vez en N sectores cada uno de los cuales se identifica con un polo magnético, existiendo entre al menos alguno de ellos diferentes medidas angulares.

Las diferentes dimensiones angulares de los N sectores que conforman cada polo se han seleccionado entre aquellas que consiguen la mayor reducción de los armónicos, manteniendo el equilibrio dinámico de la máquina.

La parte magnética de la máquina preferentemente está constituida por imanes permanentes, sin embargo también funciona, sin imanes, con bobinados, siempre que al menos el rotor o el estator uno de ellos sea asimétrico.

Cuando se trata de una máquina en la que su parte magnética está constituida por imanes permanentes, existe un cajeado en cada división o sector en el que permite colocar uno o varios imanes dispuestos longitudinalmente, montados de forma alternativa o salteados, para conformar los polos “N” y “S” de la máquina; estos imanes pueden ser de diferentes dimensiones siempre que se mantenga el equilibrio mecánico de la máquina.

Opcionalmente el rotor y el estator pueden ser asimétricos los dos a la vez, según la invención uno de ellos ha de ser asimétrico para conseguir estos resultados. Esta asimetría es la que permite eliminar el par pulsante motivado por la presencia de los armónicos 3 y 5 principalmente, en la fuerza magnetomotriz de la máquina.

En una realización preferencial, las ranuras longitudinales que separan las partes del cajeado se construyen con un ángulo β respecto al eje. Esta disposición se adopta para eliminar en su totalidad el par pulsante y facilitar la rotación de la máquina.

El fundamento teórico de este fenómeno se basa en las series de Fourier, matemático que demostró que una función definida en un intervalo es posible representarla con una serie que contenga solamente términos seno o coseno. En términos más generales: una señal sinusoidal se puede obtener de la suma de otras señales del mismo tipo y de distintas frecuencias y amplitudes. En la máquina de la invención, por la asimetría que presenta en el reparto de los polos de cada fase, cada polo al girar genera una fuerza magnetomotriz de forma sinusoidal, siendo la suma por Fourier de todas estas fuerzas sinusoidales la que forman la fuerza magnetomotriz principal, la cual se aproxima a una senoide perfecta, tal y como se ha podido comprobar experimentalmente y mediante cálculo, de forma que se minimizan las fluctuaciones de par, o el también llamado el efecto cogging.

En una máquina que tenga esta asimetría se puede intercambiar las funciones del rotor y el estator, y también construir el bobinado en el interior con los imanes en el exterior (caso de un ventilador o aerogenerador).

Al estar constituida la máquina de la forma descrita no hay fuerzas pulsantes sobre el eje, por lo que éste gira libremente, pudiéndose utilizar la máquina como generador (para aerogeneradores, por ejemplo) o motor. Por su alto par la máquina puede utilizarse sin reductoras.

La distribución asimétrica de los polos de esta máquina la convierte también en un generador senoidal casi perfecto.

Se han observado otras ventajas en la máquina de la presente invención; a saber:

- Este tipo de máquinas pueden ser tan grandes como se desee sin perder las cualidades de equilibrado y la estructura reversible de la máquina, siendo posible, en procesos de frenado, la recuperación de gran parte de la energía, ya que la máquina, por sí misma, es un freno proporcional.
- El eje y parte del conjunto pueden ser de materiales no metálicos.
- Se puede diseñar para cualquier número de polos y puede además ser monofásica, trifásica o polifásica.
- Al no llevar escobillas puede sumergirse o utilizarse en atmósferas explosivas.
- Los imanes pueden ser plásticos, y puede colocarse una camisa metálica (o de otro material) para mejorar las propiedades en altas velocidades, reduciendo el rozamiento viscoso y el centrifugado.
- El gran rendimiento y la facilidad de fabricación permiten bajar los costes de fabricación, sea para pequeños electrodomésticos o para grandes máquinas.
- Se puede utilizar este sistema para minimizar las vibraciones incluso en motores de explosión desplazando los ángulos de los cilindros con respecto al cigüeñal. También se puede utilizar para calcular el distanciado de los dientes de corte en herramientas y evitar vibraciones y resonancias.
- Este tipo de máquinas, utilizadas en ventiladores radiales y tangenciales y en turbinas, disminuyen el ruido y vibraciones (por ejemplo en turbinas de aviación).

Descripción de las figuras

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1 representa sendas vistas en sección transversal y alzado lateral de un rotor realizado según las especificaciones de la presente invención.

La figura 2 muestra una vista en sección de una realización alternativa de un rotor de una máquina de estas características.

La figura 3 muestra una gráfica de la variación de la superficie polos-dientes para distintas dimensiones del arco polar especificado en la figura anterior, al compararlo con los valores obtenidos cuando los arcos polares coinciden.

Realización preferente de la invención

En la figura 1 se observa una máquina eléctrica reversible, de alto rendimiento, debido al bajo rizado de su par aún cuando los polos magnéticos se formen con imanes permanentes. La parte magnética de esta máquina, ya sea el rotor o el estator, está dividida en T partes iguales, cada una de las cuales se divide a su vez en N sectores. Como se observa en la figura cada uno de estos sectores presenta un cajeado que permite colocar uno o varios imanes dispuestos longitudinalmente, montados de forma que alternativamente o saltados, para conformar los polos "N" y "S" de la máquina. Según una importante característica de la invención, dichos sectores tienen diferentes dimensiones angulares (A-B-C), y entre ellas se han seleccionado aquellas que permiten conseguir la mayor reducción de los armónicos, manteniendo el equilibrio dinámico de la máquina.

En la máquina representada en la figura 1 los distintos sectores (A-B-C), que se corresponden con cada polo de la máquina, son diferentes de los demás de la misma parte T en la que se divide la parte magnética de la máquina. Por el contrario, los distintos sectores N , que se corresponden con cada polo de la máquina, presentan dimensiones angulares iguales dos a dos y cada pareja es diferente de la anterior.

En la figura 1, en la vista lateral se observan las ranuras longitudinales en las que se introducen los imanes permanentes que forman un ángulo β respecto al eje.

En la figura 2 se muestra un motor formado por ocho polos ($2p=8$), en el que los imanes están en posición radial; en este caso el estator tiene 24 ranuras ($K=24$), aplicando los principios de la presente invención, vamos a determinar la asimetría que debe darse a los polos para disminuir el par de bloqueo.

El par de bloqueo se produce por la tendencia de los campos magnéticos a buscar la posición de equilibrio, que es la de mínima energía magnética. En el caso de motores con rotor de imanes permanentes, el par de bloqueo es máximo en las posiciones en las que las superficies polares están enfrentadas a la mayor superficie de dientes del estator. Para minimizar este efecto, se procura que para las distintas posiciones que adopten los dientes respecto a los polos, la variación del valor de la energía del campo magnético en el entrehierro sea mínima, considerando el valor de la dispersión del flujo en el entrehierro.

La forma de resolverlo que se propone consiste en hacer los polos asimétricos, de modo que no exista mucha diferencia entre las posiciones de máxima y mínima energía magnética. Otra solución es construir el estator con ranuras oblicuas, de modo que la superficie que presentan los dientes frente a los polos permanezca prácticamente constante, y por tanto el valor de la energía magnética en el entrehierro se mantenga constante para cualquier posición.

La forma más rigurosa de determinar el valor de la asimetría es realizar un estudio mediante un programa de simulación de campos magnéticos o mediante el estudio de, la variación de los valores de energía (superficie polo-diente enfrentadas) para los distintos arcos polares y las distintas posiciones del rotor. En esta simplificación, no se ha considerado el efecto de los flujos de dispersión.

ES 2 304 082 B1

Los parámetros del motor de imanes permanentes de la figura 2 son los siguientes:

5	Diámetro del rotor		$D_r = 56 \text{ mm.}$
	Circunferencia	$C = \pi \cdot D_r$	$C = 176 \text{ mm.}$
	Pares de polos		$p = 4$
	Paso polar	$\tau = C/2p$	$\tau = 22 \text{ mm.}$
10	Espacio interpolar		$e = 5 \text{ mm.}$
	Arco polar	$b = \tau - e$	$b = 17 \text{ mm.}$
	Ranuras		$K = 24$
	Diámetro estator		$D_i = 57 \text{ mm.}$
15	Paso de ranura	$p_r = \pi \cdot D_r / K$	$p_r = 7,5 \text{ mm.}$
	Ancho de ranura		$a_r = 2,2 \text{ mm.}$
	Ancho del diente		$a_d = 5,3 \text{ mm.}$

20 Se ha comprobado el valor de la variación de la superficie polos-dientes para distintas dimensiones del arco polar, seleccionando el valor para el que la diferencia entre los valores máximo y mínimo es menor.

Este valor óptimo se ha obtenido para un valor de arco polar $b_1=15,5 \text{ mm.}$ y $b_2=18,5 \text{ mm.}$, con los valores de variación de superficie que se indican a continuación. En el gráfico representado en la figura 3 se compara con los valores obtenidos para $b_1=b_2=17 \text{ mm.}$

Este valor corresponde a unos pasos polares:

30
$$\tau_1 = b_1 + e = 15,5 + 5 = 20,5 \text{ mm.}$$

$$\tau_2 = b_2 + e = 18,5 + 5 = 23,5 \text{ mm.}$$

35 y a unos ángulos:

40
$$\alpha_1 = \frac{90^\circ}{\tau_1 + \tau_2} \cdot \tau_1 = 42^\circ \qquad \alpha_2 = \frac{90^\circ}{\tau_1 + \tau_2} \cdot \tau_2 = 48^\circ$$

Opcionalmente, se podría conseguir un valor constante de la energía del campo magnético en el entrehierro sin necesidad de hacer los polos asimétricos. Para conseguirlo, tanto el ancho del polo como el espacio interpolar deben comprender un número entero de pasos de ranura.

45 En el caso del motor estudiado, al ser el número de ranuras $K=24$ y el número de polos $2p=8$, cada paso polar comprende $Kp=24/8=3$ ranuras.

Podemos hacer que el ancho del arco polar comprenda dos pasos de ranura y el espacio interpolar un paso de ranura, resultando como dimensiones del arco polar b , y del espacio interpolar e , a nivel del estator:

$$b = (\pi \cdot D_i / K) \cdot 2 = 14,92 \text{ mm} \qquad e = \pi \cdot D_i / K = 7,46 \text{ mm}$$

55 Con esta configuración, la superficie del hierro debajo de los polos permanece prácticamente constante, con independencia de la posición del rotor.

Con esta disposición, suponiendo un desplazamiento de los polos hacia la derecha, la superficie que se pierde en los dientes 1 y 4 se gana en los dientes 3 y 6.

60 Una vez descrita suficientemente la naturaleza de la invención, así como un ejemplo de realización preferente, se hace constar a los efectos oportunos que los materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos descritos podrán ser modificados, siempre y cuando ello no suponga una alteración de las características esenciales de la invención que se reivindican a continuación.

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Máquina eléctrica giratoria, de bajo rizado de par, en la que los polos magnéticos se forman mediante bobinados o son imanes permanentes **caracterizada** porque la parte magnética de la misma, ya sea el rotor o el estator, está dividida en T partes iguales, cada una de las cuales se divide a su vez en N sectores, que se corresponden con los polos magnéticos de la máquina, que tienen diferentes dimensiones angulares de forma que la distribución radial es asimétrica.
- 10 2. Máquina eléctrica, según la reivindicación anterior, **caracterizada** porque la distribución radial asimétrica está presente al menos en el rotor o el estator, o los dos a la vez.
- 15 3. Máquina eléctrica, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque los distintos sectores N , que se corresponde con cada polo de la máquina, presentan dimensiones angulares iguales dos a dos y cada pareja es diferente de la anterior.
- 20 4. Máquina eléctrica, según las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** porque los distintos sectores N , que se corresponden con cada polo de la máquina, son diferentes de los demás de la misma parte T en la que se divide la parte magnética de la máquina.
- 25 5. Máquina eléctrica, según las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada** porque en aquellos casos en los que los polos magnéticos están formados por imanes permanentes, cada uno de de los sectores presenta un cajeado que permite colocar uno o varios imanes dispuestos longitudinalmente, montados de forma alterna o saltados, para conformar los polos "N" y "S" de la máquina.
- 30 6. Máquina eléctrica, según la reivindicación anterior, **caracterizada** porque las ranuras longitudinales en las que se introducen los imanes permanentes se construyen con un ángulo β respecto al eje.
- 35 7. Máquina eléctrica, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el número T de partes iguales en las que se divide la zona magnética de la máquina es un número entero, comprendido entre 2 e infinito.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

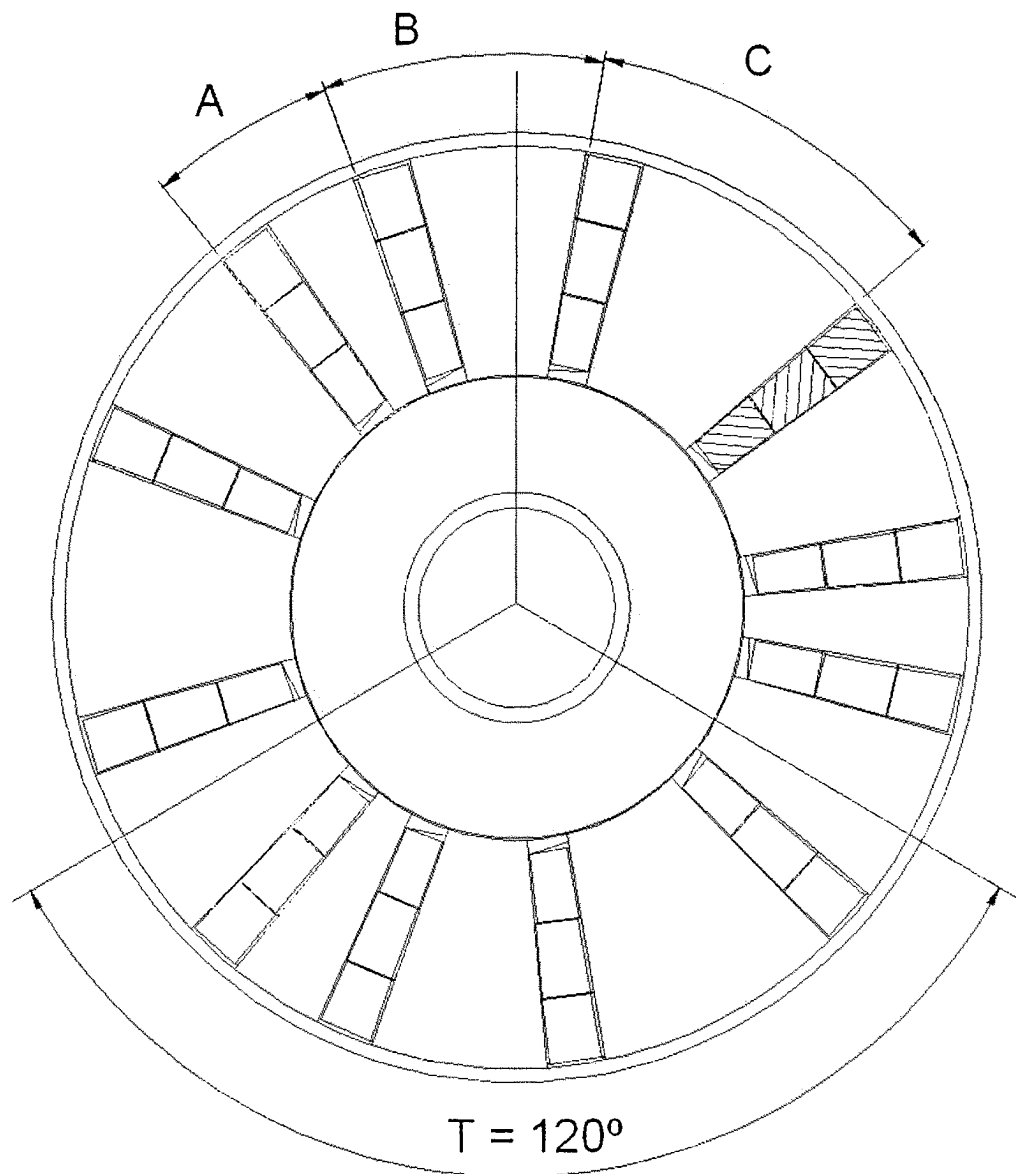


Fig. 1

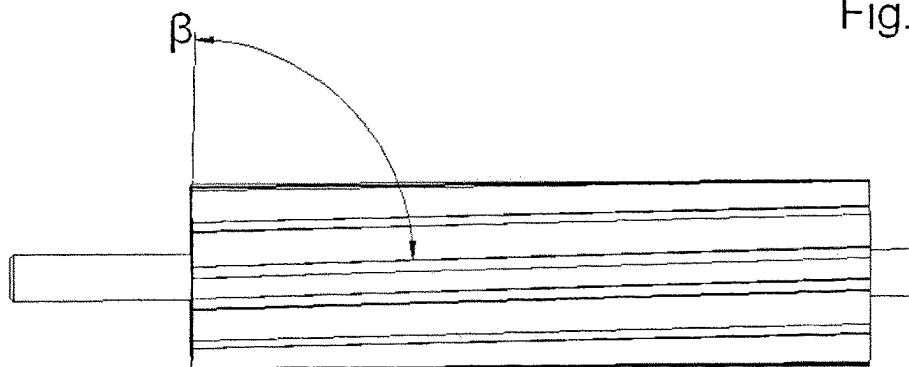


Fig. 2

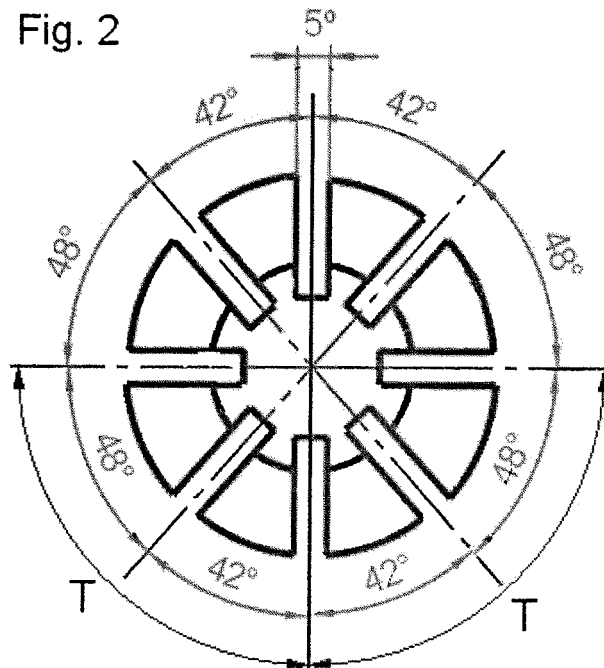
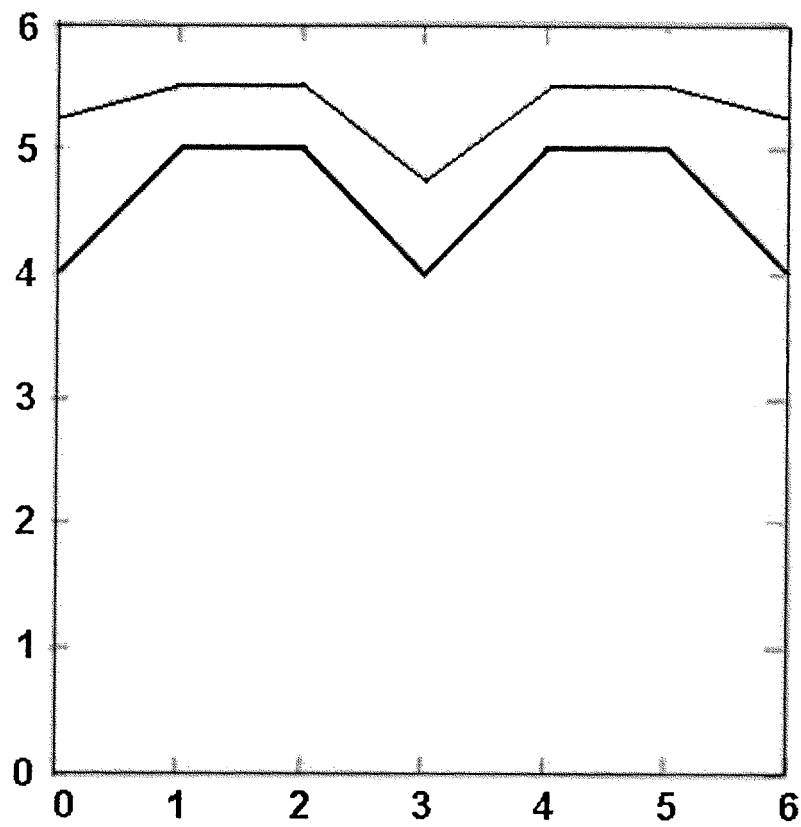


Fig. 3





OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 304 082

⑫ Nº de solicitud: 200600233

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **02.02.2006**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ **Int. Cl.:** Ver hoja adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 5886440 A (AISIN AW CO) 23.03.1999, columna 5, línea 59 - columna 6, línea 9; columna 11, líneas 22-48; columna 13, líneas 11-37; columna 14, línea 49 - columna 15, línea 5; columna 16, líneas 3-15; columna 19, líneas 49-59; figuras 5-10,17-19,23-25,30-34.	1-7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

13.08.2008

Examinador

P. Tauste Ortiz

Página

1/2

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H02K 1/27 (2006.01)
H02K 19/10 (2006.01)
H02K 21/14 (2006.01)