

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 672 901**

(51) Int. Cl.:

**H02K 21/44**

(2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2012 E 12382315 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2693613**

(54) Título: **Máquina eléctrica híbrida de reluctancia**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.06.2018**

(73) Titular/es:

**AVILA CUSICANQUI, OSCAR ROLANDO (100.0%)  
Calle los Ceibos, s/n, Tucsupaya Baja  
Sукре, BO**

(72) Inventor/es:

**ANDRADA GASCON, PERE;  
AVILA CUSICANQUI, OSCAR ROLANDO;  
BLANQUE MOLINA, BALDUÍ;  
MARTINEZ PIERA, EUSEBI;  
TORRENT BURGUES, MARCEL y  
ADELANTADO PEREZ, JAVIER MARÍA**

(74) Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 672 901 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 híbrida de reluctancia

**Objeto de la invención.**

5 La presente invención se refiere a una máquina eléctrica híbrida de reluctancia, cuya configuración estructural presenta una combinación de electroimanes e imanes permanentes, y que ha sido especialmente diseñada para construir diferentes tipos de motores y generadores, rotativos o lineales, u otros accionamientos eléctricos, que presentan un elevado rendimiento energético y una destacada sencillez constructiva.

**Antecedentes de la invención.**

10 De forma general, se puede afirmar que los motores y los accionamientos eléctricos son los mayores consumidores de electricidad en la industria, y uno de los más destacados del sector terciario. Según el *Reglamento (CE) nº 640/2009 de la Comisión de 22 de julio de 2009, por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos*, los motores y los accionamientos eléctricos tienen un margen de mejora del 15 rendimiento energético de entre el 20 y el 30 %, circunstancia que de hacerse realidad supondría un gran ahorro de energía y una importante reducción de emisiones a la atmósfera.

La movilidad eléctrica ha abierto nuevas posibilidades de mercado y ha puesto nuevos retos a los motores y accionamientos eléctricos. Así pues los motores y accionamientos eléctricos para tracción eléctrica deben verificar los siguientes requisitos:

- 20 - Elevada densidad de par y elevada densidad de potencia.
- Funcionamiento a potencia constante en un amplio margen de velocidad.
- Elevado rendimiento energético en todos los rangos de funcionamiento.
- Capacidad de sobrecarga.
- Robustez, fiabilidad y facilidad de fabricación.
- 25 - Reducido rizado de par y bajo nivel de ruido.
- Bajo coste.

30 Hoy en día no parece posible alcanzar estas metas con los motores y accionamientos asincrónicos de inducción trifásicos. Sin embargo este objetivo sí que puede estar al alcance de tecnologías como los motores de corriente continua sin escobillas (*Brushless D.C. Motor, BDCM*), los motores síncronos con imanes permanentes (*Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM*) o los motores de reluctancia autoconmutados (*Switched Reluctance Motor, SRM*).

35 Los motores y accionamientos eléctricos híbridos de reluctancia se presentan como una alternativa para lograr tales objetivos, dado que combinan la elevada densidad de potencia de los motores de corriente continua sin escobillas y de los motores síncronos con imanes permanentes con la simplicidad constructiva de los motores de reluctancia autoconmutados.

40 El documento WO2005/107356 del Sr. Oscar Rolando Ávila Cusicanqui muestra un motor eléctrico híbrido de reluctancia, de tipo rotativo, que comprende una primera y una segunda estructura magnética que se corresponden indistintamente con un rotor y un estator. La primera estructura presenta unos primeros polos que conforman una pluralidad de conjuntos magnéticos en los que se combinan en disposición polar paralela una bobina y un imán permanente, capaces de generar un flujo magnético de bobina  $\Phi_c$  y un flujo magnético de imán  $\Phi_M$  respectivamente. La segunda estructura presenta un número igual de segundos polos enfrentados a los primeros polos y separados de los mismos mediante un entrehierro, estando configuradas dichas estructuras para permitir un movimiento de rotación entre ellas. La particularidad de este motor es que el flujo magnético  $\Phi_c$  de las bobinas activadas se suma al flujo magnético  $\Phi_M$  de los imanes permanentes asociados a las mismas dentro de un mismo conjunto para generar un flujo magnético  $\Phi_G$  a través del entrehierro, siendo insignificante el valor de dicho flujo magnético  $\Phi_G$  cuando las bobinas de la primera estructura se encuentran desactivadas. De este modo se logra un mayor par de transmisión en

régimen de trabajo que el de un motor convencional de reluctancia autoconmutado del mismo tamaño, mientras que en condiciones con las bobinas desactivadas y el rotor en movimiento el par de interacción (*cogging torque*) entre los imanes y los polos del estator y el rotor es prácticamente nulo, dado que el flujo del imán no atraviesa el entrehierro. El par de interacción (*cogging torque*), también conocido como par de dentado, produce un efecto indeseable que perturba el funcionamiento del motor, por lo que es deseable que su valor sea prácticamente nulo, como ocurre en este motor.

El motor eléctrico híbrido de reluctancia del documento WO2005/107356 presenta no obstante algunos inconvenientes, a pesar de las significativas prestaciones de funcionamiento anteriormente comentadas. Estos inconvenientes se relacionan expresamente tanto con ciertos parámetros de diseño funcional, como con la configuración estructural del mismo, según se explica a continuación.

En cuanto a los parámetros de diseño funcional se destacan los inconvenientes que derivan de la paridad existente entre el número de polos del estator y del rotor, que a la vez implica un alineamiento de todos los polos en una posición de mínima reluctancia. El funcionamiento del motor se basa en la activación simultánea de todas las bobinas de la primera estructura (estator), las cuales están conectadas en serie, mediante una misma corriente de fase. La conmutación, activación/desactivación, de las corrientes en las fases se realiza mediante un convertidor electrónico de potencia, en el que la secuencia de conmutación de los interruptores de estado sólido que lo componen está controlada por la posición del rotor mediante transductores de posición. Ello provoca que la segunda estructura (rotor) gire respecto de un eje motor hasta que sus polos quedan alineados con los polos de la primera estructura. Para iniciar un par de arranque y mantener un giro uniforme no pulsante es preciso disponer de una pluralidad de segundas estructuras a lo largo del mismo y en posición paralela, cuyos polos presentan un desfase posicional respecto a los polos del resto de segundas estructuras. El motor funciona por lo tanto en régimen multi-etapa, aprovechando que los polos del estator y del rotor de una etapa se encuentran desalineados cuando otra alcanza la posición de mínima reluctancia. La mayor o menor uniformidad de giro y potencia que adquiere este motor depende del hecho de disponer de un mayor o menor número de segundas estructuras (etapas) respectivamente. Así pues, una mayor uniformidad y una mayor potencia conllevan también a un mayor tamaño del motor.

En cuanto a la configuración estructural se destacan los inconvenientes que derivan de la integridad que presentan los conjuntos magnéticos de la primera estructura, los cuales se encuentran dispuestos solidariamente a la misma, formando una misma unidad estructural de carácter indivisible. Ello genera ciertas dificultades de montaje durante el proceso de fabricación y en posteriores tareas de reparación y mantenimiento. Además, la ubicación de las bobinas está prácticamente limitada a la corona del estator, lo que contribuye nuevamente a tener que disponer de un mayor tamaño del mismo.

El documento US2012/181793 divulga (ver las realizaciones de las figuras 2-7, 16 y 17) una máquina eléctrica híbrida de reluctancia que comprende: - una primera estructura con unos polos de la primera estructura (200, 210) que conforman una pluralidad de conjuntos magnéticos (100) en los que se combinan una bobina (140, 141) y un imán permanente (130); y - una segunda estructura (110) con unos polos (150) de la segunda estructura enfrentados a los polos de la primera estructura (200, 210) y separados de los mismos mediante un entrehierro, estando configuradas dichas estructuras para permitir un movimiento rotativo relativo entre ellas; donde los conjuntos magnéticos (100) se encuentran dispuestos de forma aislada, donde cada conjunto (100) comprende:

- un núcleo magnético (100) en forma de U estructuralmente y magnéticamente independiente respecto a la primera estructura, cuyos brazos conforman un primer polo (200) y un segundo polo (210) espaciados circunferencialmente o linealmente;

- al menos un imán permanente (130), estando definido entre los brazos un espacio interior no ferromagnético; y

- una bobina (140, 141) enrollada sobre cada uno de los brazos, cuyos arrollamientos ocupan una parte del espacio interior no ferromagnético entre los polos (200, 210), donde el primer polo (200) y el segundo polo (210) de al menos un conjunto (100) se encuentran alineados respectivamente con un tercer polo (150) y un cuarto polo (150) de la segunda estructura (110) en una posición de mínima reluctancia (ver figura 2).

El objeto de la presente invención consiste en una optimización de los parámetros de diseño funcional y de la configuración estructural de este tipo de máquinas eléctricas híbridas de reluctancia, que permite resolver los problemas anteriormente comentados, además de mejorar sus prestaciones actuales. Así pues, la máquina eléctrica híbrida de la presente invención presenta en términos generales respecto a máquinas similares; circuitos magnéticos más cortos con menores pérdidas en el entrehierro, una mayor densidad de potencia, un mayor rendimiento, sencillez constructiva tolerante a faltas, sencillez reparativa, un mayor

aprovechamiento de los materiales y un menor tamaño, además de mantener un par de interacción (*cogging torque*) prácticamente nulo.

**Descripción de la invención.**

5 La reivindicación 1 define la máquina eléctrica híbrida de reluctancia de la presente invención. Una posición de mínima reluctancia corresponde con una posición angular de  $\theta=0^\circ$ .

En configuraciones rotativas, preferentemente cada brazo comprende un extremo curvado que sigue una dirección paralela al perímetro que conforman los extremos de los segundos polos. Ello permite que el grosor de entrehierro entre los primeros y los segundos polos sea uniforme.

10 De acuerdo a una primera configuración preferente, la primera estructura se encuentra fija, mientras que la segunda estructura se encuentra configurada para girar concéntricamente en el interior de la primera estructura. Esta configuración se corresponde a la de una máquina rotativa de rotor interior. Las diferentes variantes constructivas que admite esta primera configuración responden a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}N_p &= k \cdot m \\N_s &= 2 \cdot k \cdot m \\N_r &= k(2m - 1)\end{aligned}$$

15 Siendo:  $N_p$  el número total de conjuntos magnéticos;  $N_s$  el número total de primeros polos;  $N_r$  el número total de segundos polos;  $m$  el número de fases eléctricas que alimentan las bobinas; y  $k$  un parámetro multiplicador que puede adoptar cualquier valor entero igual o mayor que 1.

A su vez, los conjuntos magnéticos presentan un ángulo  $\gamma$  entre sí que se determina por la expresión:

$$\gamma = \frac{360^\circ}{N_p}$$

Siendo  $N_p$  el número total de conjuntos magnéticos.

20 A su vez, los segundos polos presentan un ángulo  $\alpha$  entre sí que se determina por la expresión:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{N_r}$$

Siendo  $N_r$  el número total de segundos polos.

Finalmente, los primeros polos presentan un ángulo  $\delta$  entre sí que se determina por la expresión:

$$\delta = \gamma - \alpha = \frac{360^\circ \cdot (N_r - (k \cdot m))}{k \cdot m \cdot N_r}$$

25 Los valores más usuales, para 3 y 4 fases eléctricas, de máquinas rotativas de rotor interior se muestran en la tabla I.

TABLA I

$k$	$m$	$N_p$	$N_s$	$N_r$	$\alpha$	$\gamma$	$\delta$
1	3	3	6	5	$72^\circ$	$120^\circ$	$48^\circ$
2	3	6	12	10	$36^\circ$	$60^\circ$	$24^\circ$
3	3	9	18	15	$24^\circ$	$40^\circ$	$16^\circ$

k	m	N <sub>P</sub>	N <sub>S</sub>	N <sub>R</sub>	α	γ	δ
4	3	12	24	20	18°	30°	12°
5	3	15	30	25	14.4°	24°	9.6°
6	3	18	36	30	12°	20°	8°
1	4	4	8	7	51.43°	90°	38.57°
2	4	8	16	14	25.71°	45°	19.29°
3	4	12	24	21	17.14°	30°	12.86°
4	4	16	32	28	12.86°	22.50°	9.64°
5	4	20	40	35	10.29°	18°	7.71°
6	4	24	48	42	8.57°	15°	6.43°

De acuerdo a una segunda configuración preferente, la primera estructura se encuentra fija, mientras que la segunda estructura se encuentra configurada para girar concéntricamente en el exterior de la primera estructura. Esta configuración se corresponde a la de una máquina rotativa de rotor exterior. Las diferentes variantes constructivas que admite esta segunda configuración responden a las siguientes expresiones:

$$N_P = k \cdot m$$

$$N_S = 2 \cdot k \cdot m$$

$$N_R = 2 \cdot k(m+1)$$

Siendo:  $N_P$  el número total de conjuntos magnéticos;  $N_S$  el número total de primeros polos;  $N_R$  el número total de segundos polos;  $m$  el número de fases eléctricas que alimentan las bobinas; y  $k$  un parámetro multiplicador que adopta cualquier valor entero igual o mayor que 1.

- 10 Las expresiones anteriores relativas a los ángulos son igual de válidas tanto para máquinas rotativas de rotor interior como de rotor exterior. Así pues, los valores más usuales, para 3 y 4 fases eléctricas, en este tipo de máquinas se muestran en la tabla II.

TABLA II

k	m	N <sub>P</sub>	N <sub>S</sub>	N <sub>R</sub>	α	γ	δ
1	3	3	6	8	45°	120°	75°
2	3	6	12	16	22.5°	60°	37.5°
1	4	4	8	10	36°	90°	54°
2	4	8	16	20	18°	45°	27°

- 15 De acuerdo a una tercera configuración preferente, la primera estructura se encuentra fija, mientras que la segunda estructura se encuentra configurada para desplazarse linealmente respecto a dicha primera estructura. Esta configuración se corresponde a la de una máquina lineal.

De acuerdo a una variante de la tercera configuración preferente, la máquina comprende dos primeras estructuras dispuestas de forma simétrica en posición fija, entre las cuales se disponen dos segundas

estructuras dispuestas de forma simétrica que se encuentran configuradas para desplazarse linealmente respecto a dichas primeras estructuras.

La máquina de la presente invención se puede construir mediante configuración de etapa única o multi- etapa, lo cual repercute en la uniformidad de movimiento y en la potencia de la máquina.

5 De acuerdo a la configuración multi- etapa, la primera y la segunda estructura se encuentran dispuestas en una pluralidad de capas paralelas, donde:

- los primeros polos de la primera estructura presentan entre sí en cada una de las capas un desfase posicional  $\theta_s$  nulo; y donde:

10 - el desfase posicional  $\theta_s$  entre los segundos polos de dos capas paralelas consecutivas presenta la siguiente relación:

$$\theta_s = \frac{360^\circ}{m \cdot N_R}$$

Donde " $N_R$ " corresponde al número total de segundos polos de cada capa paralela, " $m$ " corresponde al número de fases eléctricas que alimentan las bobinas y " $k$ " corresponde a un parámetro multiplicador que adopta cualquier valor entero igual o mayor que 1.

15 Cada capa se corresponde con una determinada etapa de potencia, coincidiendo el número de etapas de potencia con el número de fases eléctricas. A mayor número de capas, es decir a mayor número de etapas de potencia, se obtiene una mayor uniformidad de giro y una mayor potencia.

Las diferentes variantes constructivas que admite la configuración multi- etapa para máquinas rotativas de rotor interior responden a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} N_P &= k \cdot m \\ 20 \quad N_S &= k \cdot m \\ N_R &= N_S \end{aligned}$$

Siendo:  $N_P$  el número total de conjuntos magnéticos;  $N_S$  el número total de primeros polos;  $N_R$  el número total de segundos polos;  $m$  el número de fases eléctricas que alimentan las bobinas; y  $k$  un parámetro multiplicador que adopta cualquier valor entero igual o mayor que 1.

25 Las expresiones anteriores relativas a los ángulos son igual de válidas tanto para máquinas rotativas de rotor interior como de rotor exterior, de etapa única o multi- etapa. Así pues, los valores más usuales, para 3 y 4 fases eléctricas, en este tipo de máquinas se muestran en la tabla III.

TABLA III

k	m	$N_P$	$N_S$	$N_R$	$\alpha$	$\gamma$	$\delta$	$\theta_s$
1	3	3	6	6	$60^\circ$	$120^\circ$	$60^\circ$	$20^\circ$
2	3	6	12	12	$30^\circ$	$60^\circ$	$30^\circ$	$10^\circ$
1	4	4	8	8	$45^\circ$	$90^\circ$	$45^\circ$	$11.25^\circ$
2	4	8	16	16	$22.5^\circ$	$45^\circ$	$22.5^\circ$	$5.625^\circ$

30 Con carácter general, en las configuraciones de etapa única las bobinas de cada conjunto magnético, o de conjuntos magnéticos conectados en serie, se alimentan de una misma fase, distinta a la que alimenta al resto de conjuntos o grupos de conjuntos en serie. En la configuración multi- etapa, los conjuntos magnéticos de una misma etapa se alimentan de una misma fase, distinta a la que alimenta a los conjuntos del resto de etapas.

**Breve descripción de los dibujos.**

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con distintas realizaciones preferentes de dicha invención que se presentan como ejemplo no limitativo de la misma.

5 La figura 1 representa una sección transversal de la máquina según la primera configuración preferente.

La figura 2 representa una vista en perspectiva, con un corte longitudinal, de la máquina de la figura 1.

La figura 3 representa un esquema del convertidor electrónico de potencia.

10 Las figuras 4A y 4B representan respectivamente la distribución de las líneas de flujo en la posición de alineamiento y en la posición de no alineamiento, según un prototipo construido de acuerdo a la primera configuración preferente.

La figura 5 representa las curvas de magnetización según el prototipo.

La figura 6 representa las curvas de par estático según el prototipo.

La figura 7 representa el par de dentado según el prototipo.

La figura 8 representa las características de par-velocidad y rendimiento velocidad según el prototipo.

15 La figura 9 representa una sección transversal de la máquina según una variante de la primera configuración preferente.

La figura 10 representa una sección transversal de la máquina según una variante multi-etapa de la primera configuración preferente.

La figura 11 representa una vista en perspectiva de la máquina según la variante multi-etapa de la figura 10.

20 La figura 12 representa una sección longitudinal de la máquina de la figura 10.

La figura 13 representa una vista frontal esquemática de tres capas paralelas de la segunda estructura de la máquina según la variante multi-etapa de la figura 10.

La figura 14 representa una sección transversal de la máquina según la segunda configuración preferente.

La figura 15 representa una vista en perspectiva, con un corte longitudinal, de la máquina de la figura 14.

25 La figura 16 representa un esquema con los ángulos  $\gamma$ ,  $\alpha$  y  $\delta$  de las variantes rotativas de la máquina de la presente invención.

La figura 17 representa una vista en alzado de la máquina según la tercera configuración preferente.

La figura 18 representa una vista en alzado de la máquina según una variante de la tercera configuración preferente.

30 **Realización preferente de la invención.**

La figura 1 muestra una sección transversal de la máquina según la primera configuración preferente. Como se puede apreciar la máquina (1) eléctrica híbrida de reluctancia comprende:

35 - una primera estructura (2) con unos primeros polos (3) que conforman una pluralidad de conjuntos magnéticos (30) en los que se combinan una bobina (4) y un imán permanente (5) capaces de generar un flujo magnético de bobina  $\Phi_c$  y un flujo magnético de imán  $\Phi_M$  respectivamente, figuras 4A y 4B; y

- una segunda estructura (6) con unos segundos polos (7) enfrentados a los primeros polos (3) y separados de los mismos mediante un entrehierro (8), estando configuradas dichas estructuras (2, 6) para permitir un movimiento relativo entre ellas.

A su vez, los conjuntos magnéticos (30) se encuentran dispuestos de forma aislada, separados entre sí por espacios no ferromagnéticos (40), donde cada conjunto (30) comprende:

- 5 - un núcleo magnético (31) estructuralmente y magnéticamente independiente respecto a la primera estructura (2), que conforma un primer polo (3A) y un segundo polo (3B) entre cuyos extremos se encuentra dispuesto al menos un imán permanente (5), encontrándose enrollada sobre dicho núcleo (31) al menos una bobina (4).

Como se puede observar, el primer polo (3A) y el segundo polo (3B), de un conjunto (30), se encuentran alineados respectivamente con un tercer polo (7A) y un cuarto polo (7B) de la segunda estructura (6) en una posición de mínima reluctancia.

- 10 10 El núcleo magnético (31) presenta una forma de U, cuyos brazos (32) conforman el primer (3A) y el segundo polo (3B), definiéndose entre los mismos y el imán permanente (5) un espacio interior no ferromagnético (50). Sobre cada uno de los brazos (32) se encuentra enrollada una bobina (4), cuyos arrollamientos (4A, 4B) ocupan una parte del espacio no ferromagnético (40) entre conjuntos (30) y una parte del espacio interior no ferromagnético (50) entre polos (3A, 3B). Como se puede apreciar cada brazo (32) comprende un extremo curvado (33) que sigue una dirección paralela al perímetro que conforman los extremos de los segundos polos (7).
- 15

Preferentemente los espacios no ferromagnéticos (40, 50) están constituidos por aire, es decir espacios huecos, pudiendo estar ocupados también por materiales no-ferromagnéticos de asistencia a la construcción del motor, como acero o aluminio.

- 20 20 La figura 2 muestra una vista en perspectiva de la máquina (1) de la figura 1. Como se puede apreciar la primera estructura (2) se encuentra fija y la segunda estructura (6) se encuentra configurada para girar concéntricamente en el interior de la primera estructura (2). Las estructuras (2, 6) están configuradas para permitir un movimiento relativo entre ellas, empleando unos cojinetes (11) solidarios a la primera estructura (2) que permiten la rotación de un eje (9) solidario a la segunda estructura (6).
- 25 25 En la figura 2 se observa también con mayor claridad la independencia estructural entre los núcleos magnéticos (31) y la primera estructura (2). Esto permite construir los distintos componentes por separado, y posteriormente facilita las tareas de ensamblado y de mantenimiento o reparación de los mismos. Su montaje se puede realizar de un modo rápido y sencillo, por ejemplo, haciendo deslizar los conjuntos magnéticos (30) por la cara interior de la primera estructura (2) hasta alcanzar algún tipo de relieve o borde
- 30 30 que frene su avance. Su unión se puede llevar a cabo, por ejemplo, disponiendo una pluralidad de orificios enfrentados (13) en los conjuntos magnéticos (30) y en la primera estructura (2), y fijando ambos elementos (30, 2) mediante el empleo de tornillos (12).

35 La independencia magnética de los núcleos magnéticos (31) respecto a la primera estructura (2) evita cualquier tipo de interacción magnética entre los conjuntos (30) y la primera estructura (2). Además, al disponerse los conjuntos magnéticos (30) de forma aislada, separados entre sí por espacios no ferromagnéticos (40), tampoco hay interacción magnética entre los mismos.

40 La figura 3 muestra un esquema del convertidor electrónico empleado. Dicho convertidor utiliza control de histéresis para bajas velocidades y control de pulso único para altas velocidades. Un encoder incremental se utiliza como transductor de posición de velocidad.

- 45 40 Las distribuciones de flujo de las figuras 4A y 4B, así como las curvas de las figuras 5 – 8, han sido obtenidas a partir de un prototipo construido según la primera configuración preferente. Dicho prototipo se corresponde con un motor rotativo de reluctancia híbrido de rotor interior. El estator, o primera estructura (2), se compone de tres conjuntos magnéticos (30), constituyendo cada uno de ellos una fase del motor. El rotor, o segunda estructura (6), está formado por cinco polos salientes. El estator ha sido diseñado de tal manera que para cada fase hay una posición de alineación de los polos de estator con los polos del rotor. Así, el ángulo  $\alpha$  entre ejes de los polos de rotor tiene un valor de  $72^\circ$ , mientras que el ángulo entre la posición de alineación y la posición de no alineación es de  $36^\circ$ . Las características nominales del prototipo son 3000 rpm, 300 V. DC y un tamaño IEC 80. Esta construcción asegura una mejor utilización de los materiales, tiene circuitos magnéticos de menor longitud y asegura independencia de las fases, lo que se traduce en menores pérdidas en el hierro y en tolerancia a faltas.
- 50

Las figuras 4A y 4B muestran respectivamente la distribución de las líneas de flujo en la posición de alineamiento y en la posición de no alineamiento del prototipo anterior para una corriente de 5A. El comportamiento electromagnético ha sido analizado utilizando el método de elementos finitos de dos dimensiones. Como se puede apreciar el flujo magnético  $\Phi_C$  de las bobinas (4) activadas se suma al flujo

magnético  $\Phi_M$  de los imanes permanentes (5) asociados a las mismas dentro de un mismo conjunto (30) para generar un flujo magnético  $\Phi_G$  a través del entrehierro (8), siendo prácticamente nulo el valor de dicho flujo magnético  $\Phi_G$  cuando las bobinas (4) de la primera estructura (2) se encuentran desactivadas.

- 5 La figura 5 muestra las curvas de magnetización del prototipo anterior. En la gráfica se aprecian las curvas de flujo concatenado ( $\psi$ ) respecto a la corriente ( $I$ ) para distintas posiciones ( $\theta$ ) entre estator y rotor, comprendidas entre la posición de alineamiento  $\theta=0^\circ$  y la posición de no alineamiento  $\theta=36^\circ$ .
- La figura 6 muestra las curvas de par estático, par respecto a la posición para distintos valores de la corriente, del prototipo anterior.
- 10 La figura 7 muestra la curva de evolución del par de dentado del prototipo anterior. En la gráfica se aprecia la evolución del par debido a la interacción entre los imanes permanentes y los polos rotóricos, *cogging torque* o par de dentado, para diferentes posiciones relativas cuando no circula corriente por las bobinas (4). Los resultados de la figura 7 confirman que dicho par de dentado es prácticamente nulo, alcanzando un valor máximo de  $\pm 2.5E-4$  Nm. Ello se debe a que no hay líneas de flujo  $\Phi_M$  que atravesen el entrehierro (8) cuando no hay circulación de corriente por las bobinas (4) del estator.
- 15 En la tabla IV se han recopilado los resultados obtenidos de los ensayos efectuados con control de pulso único sobre el prototipo anterior, para una posición de inicio de conducción  $\theta_{ON}=4^\circ$  y una posición final de conducción  $\theta_{OFF}=28^\circ$ .

TABLA IV

$\theta_{ON}$	$\theta_{OFF}$	$V_{DC}$ (V)	$I_{DC}$ (A)	$IF_{RMS}$ (A)	M (Nm)	N (rpm)	$P_{abs}$ (W)	$P_{util}$ (W)	$\eta_{Conv}$ (%)	$\eta_{Motor}$ (%)	$\eta_{Global}$ (%)
4	28	301	2,1	1,3	1	4969	637	520	93,3	87,6	81,7
4	28	301	3,1	1,9	2	3723	930	780	95,2	88,0	83,8
4	28	301	3,9	2,6	3	3156	1187	991	96,2	86,8	83,5
4	28	301	4,7	3,3	4	2789	1403	1168	96,0	86,8	83,3
4	28	301	5,4	4,2	5	2469	1617	1293	97,0	82,4	79,9

- 20 Donde:  $\theta_{ON}$  es el ángulo de inicio de conducción;  $\theta_{OFF}$  es el ángulo de final de conducción;  $V_{DC}$  es la tensión de alimentación en corriente continua;  $I_{DC}$  es la corriente de entrada en corriente continua;  $IF_{RMS}$  es la corriente de fase en valor eficaz;  $M$  es el par;  $N$  es la velocidad;  $P_{abs}$  es la potencia absorbida;  $P_{util}$  es la potencia útil;  $\eta_{Conv}$  es el rendimiento del convertidor electrónico de potencia;  $\eta_{Motor}$  es el rendimiento del motor;  $\eta_{Global}$  es el rendimiento global (El rendimiento global es el rendimiento resultante de multiplicar el rendimiento del convertidor electrónico de potencia  $\eta_{Conv}$  por el rendimiento del motor  $\eta_{Motor}$ , esto es la relación entre la potencia mecánica útil y la potencia eléctrica absorbida).

- 25 La figura 8 muestra las curvas de par-velocidad y rendimiento-velocidad del prototipo anterior. El rendimiento representado corresponde al rendimiento global, incluyendo el producto del rendimiento del motor por el del convertidor.
- 30 A la vista de los resultados obtenidos se puede decir que el par nominal del prototipo construido según la presente invención, está comprendido entre 3 y 4 Nm, próximo a los 3.5 Nm, a 3000 rpm. Por lo que se le puede asignar una potencia nominal de 1100 W. El rendimiento global en estas condiciones nominales es del 83.3% y el rendimiento del motor híbrido de reluctancia MHR del 86.8%, valor que queda dentro de los parámetros establecidos para un motor IE4 (Super Premium), según la norma IEC 60034-31.

- 35 El prototipo del motor híbrido de reluctancia, MHR, se ha comparado con dos motores de reluctancia autoconmutados (Switched Reluctance Motor, SRM) del mismo tamaño. Uno corresponde a un SRM 6/4, con 6 polos en el estator y 4 polos en el rotor, y el otro a un SRM 12/8, con 12 polos en el estator y 8 polos en el rotor. En la tabla V se muestran los valores comparativos de las principales dimensiones y parámetros de los motores en cuestión.

TABLA V

	MHR	6/4 SRM	12/8 SRM
Tamaño ICE	80	80	80
Potencia nominal W)	1100	750	750
Velocidad nominal (rpm)	3000	3000	3000
Tensión C.C. (V)	300	300	300
Rendimiento global a 300 rpm (%)	83,8	75	75
Número de fases	3	3	3
Número de electroimanes con imanes permanentes	3	-	-

TABLA V (continuación)

	MHR	6/4 SRM	12/8 SRM
Número de polos estator	-	6	12
Numero de polos rotor	5	4	6
Longitud (mm)	63	59.65	60.25
Diámetro del rotor (mm)	60.4	59.75	65
Entrehierro (mm)	0.3	0.54	0.35
Chapa magnética	270-50	600-50	600-50
Masa (g)	8645	6740*	7435*

\*Carcasa de aleación ligera

5

Por lo tanto, el MHR prototipo tiene una potencia útil un 47% superior a la de un motor de inducción del mismo tamaño (80 mm. de altura de eje) y 2 polos, y además un rendimiento global netamente superior.

10 La figura 9 muestra una sección transversal de la máquina de la presente invención, según una variante de la primera configuración preferente. En este caso la máquina (1) muestra una configuración que comprende seis conjuntos magnéticos (30) en la primera estructura (2) y un total de diez polos (7) en la segunda estructura (6).

15 La figura 10 muestra una sección transversal de la máquina de la presente invención, según una configuración multi-etapa de la misma de rotor interior. Como se puede apreciar, se cumple la relación anteriormente expresada  $N_S=N_R$ , es decir el número total de primeros polos (3),  $N_S$ , coincide con el número total de segundos polos (7),  $N_R$ , en cada una de las etapas o capas (S1, S2, S3), figuras 11-13.

Las figuras 11 y 12 muestran respectivamente una vista en perspectiva y una sección longitudinal de la máquina de la presente invención, según la configuración anterior. Como se puede apreciar la primera (2) y

la segunda estructura (6) se encuentran dispuestas en una pluralidad de capas paralelas (S1, S2, S3), donde:

- los primeros polos (3) de la primera estructura (2) presentan entre sí en cada una de las capas (S1, S2, S3) un desfase posicional  $\theta_s$  nulo; y

5 - un mismo desfase posicional  $\theta_s$  entre los segundos polos (7) de dos capas paralelas (S1, S2, S3).

La figura 13 muestra una vista frontal esquemática de tres capas paralelas (S1, S2, S3) en la que se puede apreciar el mismo desfase posicional  $\theta_s$  entre los segundos polos (7) de capas paralelas (S1, S2, S3) consecutivas.

10 Las figuras 14 y 15 muestran respectivamente una sección transversal y una vista en perspectiva de la máquina de la presente invención, según la segunda configuración preferente. En este caso la máquina (1) muestra una configuración de rotor exterior que comprende tres conjuntos magnéticos (30) en la segunda estructura (6) y un total de ocho polos (7) en la primera estructura (6). Como se puede apreciar la primera estructura (2) se encuentra fija mientras que la segunda estructura (6) se encuentra configurada para girar concéntricamente en el exterior de la primera estructura (2).

15 Para facilitar un montaje rápido y sencillo de los conjuntos magnéticos (30), la primera estructura (2) comprende unas ranuras (14) en las que encajan mediante deslizamiento dichos conjuntos magnéticos (30). Asimismo, para evitar que éstos se mantengan bien sujetos, el núcleo magnético (31) comprende una o más barras de deslizamiento y sujeción (34). Las barras (34) se encuentran configuradas para deslizar por el interior de carriles (15) dispuestos en la ranura (14), que permiten el movimiento de los conjuntos magnéticos (30) en la dirección axial de la primera estructura (2), a la vez que impiden su movimiento en la dirección radial de la misma.

La figura 16 muestra un esquema con los ángulos  $\gamma$ ,  $\alpha$  y  $\delta$  de las variantes rotativas de la máquina (1) de la presente invención.

25 La figura 17 muestra una vista en alzado de la máquina de la presente invención, según la tercera configuración constructiva. En este caso la máquina (1) muestra una configuración lineal a simple cara, que comprende tres conjuntos magnéticos (30) en la primera estructura (2) y un total de ocho polos (7) en la segunda estructura (6). Como se puede apreciar la primera estructura (2) se encuentra fija, mientras que la segunda estructura (6) se encuentra configurada para desplazarse linealmente respecto a dicha primera estructura (2). Cada conjunto magnético (30) se alimenta de una misma fase, distinta a la de los demás.

30 La figura 18 muestra una vista en alzado de la máquina de la presente invención, según una variante de la tercera configuración constructiva. En este caso la máquina (1) muestra una configuración lineal a doble cara, que comprende un total de seis conjuntos magnéticos (30) de dieciséis polos (7). Como se puede apreciar la máquina comprende dos primeras estructuras (2) dispuestas de forma simétrica en posición fija, entre las cuales se disponen dos segundas estructuras (6) dispuestas de forma simétrica que se encuentran configuradas para desplazarse linealmente respecto a dichas primeras estructuras (2). Cada par de conjuntos magnéticos (30) enfrentados se alimenta de una misma fase, distinta a la de los demás.

Como se puede apreciar en las figuras 17 y 18, las bobinas (4) se encuentran enrolladas en la corona, o zona que une ambos brazos (32).

40 En las realizaciones lineales anteriores es posible también invertir la disposición, disponiendo los conjuntos magnéticos (30) sobre la estructura que se desplaza linealmente.

## REIVINDICACIONES

1.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia que comprende:

- una primera estructura (2) con unos polos de la primera estructura (3) que conforman una pluralidad de conjuntos magnéticos (30) en los que se combinan una bobina (4) y un imán permanente (5); y

5 - una segunda estructura (6) con unos polos de la segunda estructura (7) enfrentados a los polos de la primera estructura (3) y separados de los mismos mediante un entrehierro (8), estando configuradas dichas estructuras (2, 6) para permitir un movimiento rotativo o lineal relativo entre ellas;

10 donde los conjuntos magnéticos (30) se encuentran dispuestos de forma aislada, separados circunferencialmente o linealmente entre sí por espacios no ferromagnéticos (40) exteriores, donde cada conjunto (30) comprende:

- un núcleo magnético (31) en forma de U estructuralmente y magnéticamente independiente respecto a la primera estructura (2), cuyos brazos (32) conforman un primer polo (3A) y un segundo polo (3B) espaciados circunferencialmente o linealmente;

15 - al menos un imán permanente (5) dispuesto desde el extremo del primer polo (3A) hasta el extremo del segundo polo (3B), definiéndose entre los brazos (32) y el imán permanente (5) un espacio interior no ferromagnético (50); y

20 - una bobina (4) enrollada sobre cada uno de los brazos (32), cuyos arrollamientos (4a, 4b) ocupan una parte del espacio no ferromagnético (40) entre conjuntos (30) y una parte del espacio interior no ferromagnético (50) entre polos (3A, 3B), o alternativamente la bobina (4) se encuentra enrollada sobre la zona que une ambos brazos (32);

donde el primer polo (3A) y el segundo polo (3B) de al menos un conjunto (30) se encuentran alineados respectivamente con un tercer polo (7A) y un cuarto polo (7B) de la segunda estructura (6) en una posición de mínima reluctancia.

25 2.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según la reivindicación 1 **caracterizada porque** cada brazo (32) comprende un extremo curvado (33) que sigue una dirección paralela al perímetro que conforman los extremos de los polos de la segunda estructura (7).

3.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 **caracterizada porque** la primera estructura (2) se encuentra fija; y porque la segunda estructura (6) se encuentra configurada para girar concéntricamente en el interior de la primera estructura (2).

30 4.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según la reivindicación 3 **caracterizada porque** comprende un número total  $N_p$  de conjuntos magnéticos (30), un número total  $N_s$  de polos de la primera estructura (3) y un número total  $N_r$  de polos de la segunda estructura (7) que presentan la siguiente relación:

$$\begin{aligned} N_p &= k \cdot m \\ N_s &= 2 \cdot k \cdot m \\ N_r &= k(2m - 1) \end{aligned}$$

35 donde "m" corresponde al número de fases eléctricas que alimentan las bobinas (4) y "k" corresponde a un parámetro multiplicador que puede adoptar cualquier valor entero igual o mayor que 1.

5.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 **caracterizada porque** la primera estructura (2) se encuentra fija; y **porque** la segunda estructura (6) se encuentra configurada para girar concéntricamente en el exterior de la primera estructura (2).

40 6.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según la reivindicación 5 **caracterizada porque** comprende un número total  $N_p$  de conjuntos magnéticos (30), un número total  $N_s$  de polos de la primera estructura (3) y un número total  $N_r$  de polos de la segunda estructura (7) que presentan la siguiente relación:

$$\begin{aligned}N_P &= k \cdot m \\N_S &= 2 \cdot k \cdot m \\N_R &= 2 \cdot k(m+1)\end{aligned}$$

donde "m" corresponde al número de fases eléctricas que alimentan las bobinas (4) y "k" corresponde a un parámetro multiplicador que adopta cualquier valor entero igual o mayor que 1.

- 5 7.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según cualquiera de las reivindicaciones 4 o 6 **caracterizada porque** los conjuntos magnéticos (30) presentan un ángulo  $\gamma$  entre sí que se determina por la expresión:

$$\gamma = \frac{360^\circ}{N_P}$$

siendo  $N_P$  el número total de conjuntos magnéticos (30);

y porque los polos de la segunda estructura (7) presentan un ángulo  $\alpha$  entre sí que se determina por la expresión:

$$10 \quad \alpha = \frac{360^\circ}{N_R}$$

siendo  $N_R$  el número total de polos de la segunda estructura (7);

y porque los polos de la primera estructura (3) presentan un ángulo  $\delta$  entre sí que se determina por la expresión:

$$15 \quad \delta = \gamma - \alpha = \frac{360^\circ \cdot (N_R - (k \cdot m))}{k \cdot m \cdot N_R}$$

8.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 **caracterizada porque** la primera estructura (2) se encuentra fija; y porque la segunda estructura (6) se encuentra configurada para desplazarse linealmente respecto a dicha primera estructura (2).

- 20 9.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 **caracterizada porque** comprende dos primeras estructuras (2) dispuestas de forma simétrica en posición fija, entre las cuales se disponen dos segundas estructuras (6) dispuestas de forma simétrica que se encuentran configuradas para desplazarse linealmente respecto a dichas primeras estructuras (2).

- 25 10.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 **caracterizada porque** la primera (2) y la segunda estructura (6) se encuentran dispuestas en una pluralidad de capas paralelas (S1, S2, S3), donde:

- los polos (3) de la primera estructura (2) presentan entre sí en cada una de las capas (S1, S2, S3) un desfase posicional  $\theta_S$  nulo; y donde:

- 30 - el desfase posicional  $\theta_S$  entre los polos de la segunda estructura (7) de dos capas paralelas (S1, S2, S3) consecutivas presenta la siguiente relación:

$$\theta_S = \frac{360^\circ}{m \cdot N_R}$$

donde “ $N_R$ ” corresponde al número total de polos de la segunda estructura (7) de cada capa paralela (S1, S2, S3), “ $m$ ” corresponde al número de fases eléctricas que alimentan las bobinas (4) y “ $k$ ” corresponde a un parámetro multiplicador que adopta cualquier valor entero igual o mayor que 1.

- 5 11.- Máquina eléctrica híbrida de reluctancia según las reivindicaciones 3 y 10 **caracterizada porque** cada capa paralela (S1, S2, S3) comprende un número total  $N_P$  de conjuntos magnéticos (30), un número total  $N_S$  de polos de la primera estructura (3) y un número total  $N_R$  de polos de la segunda estructura (7) que presentan la siguiente relación:

$$N_P = k \cdot m$$

$$N_S = k \cdot m$$

$$N_R = N_S$$

10

donde “ $m$ ” corresponde al número de fases eléctricas que alimentan las bobinas (4) y “ $k$ ” corresponde a un parámetro multiplicador que adopta cualquier valor entero igual o mayor que 1.

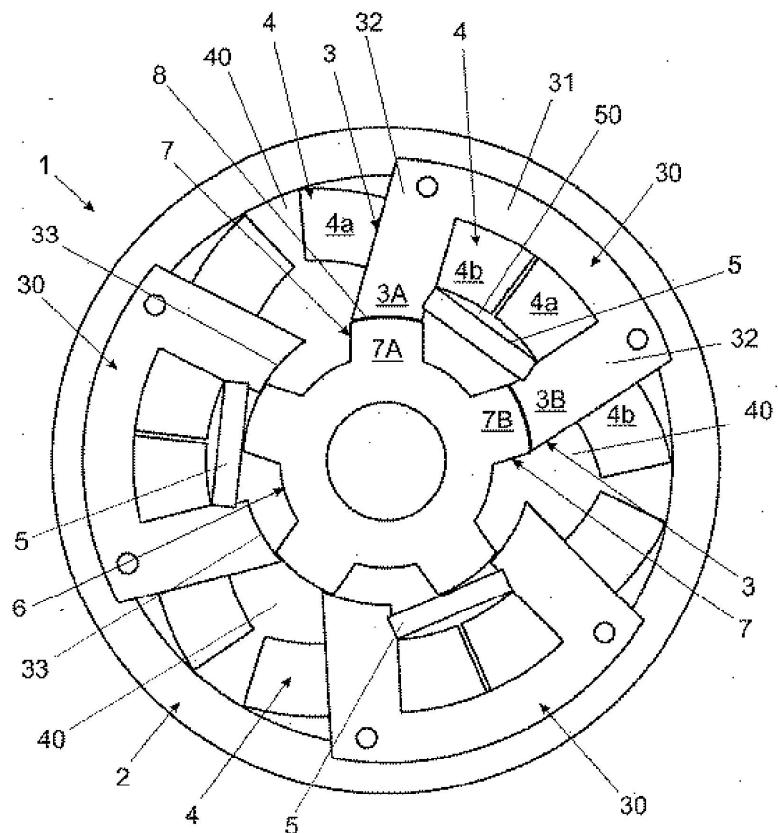


Fig. 1

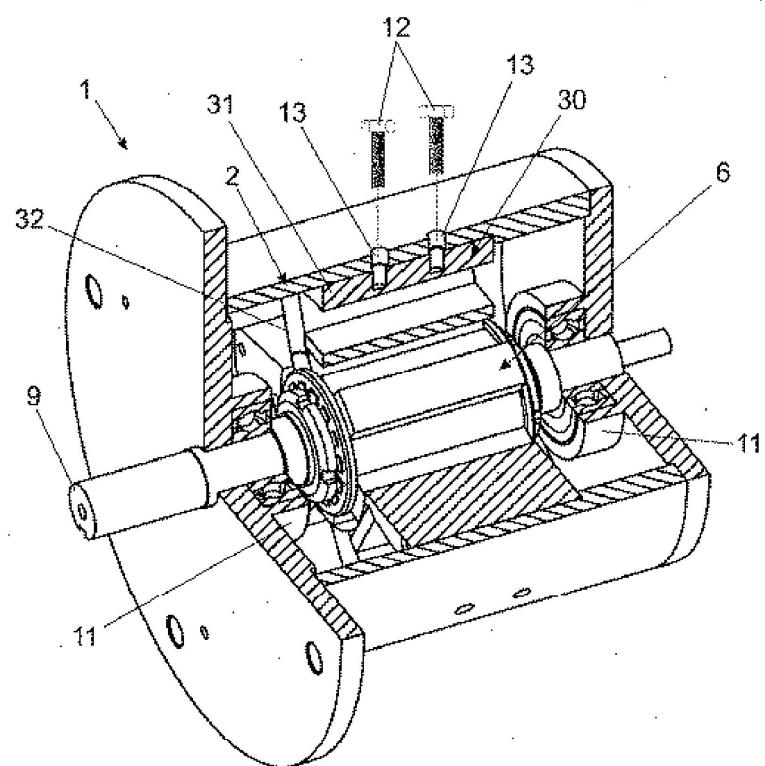


Fig. 2

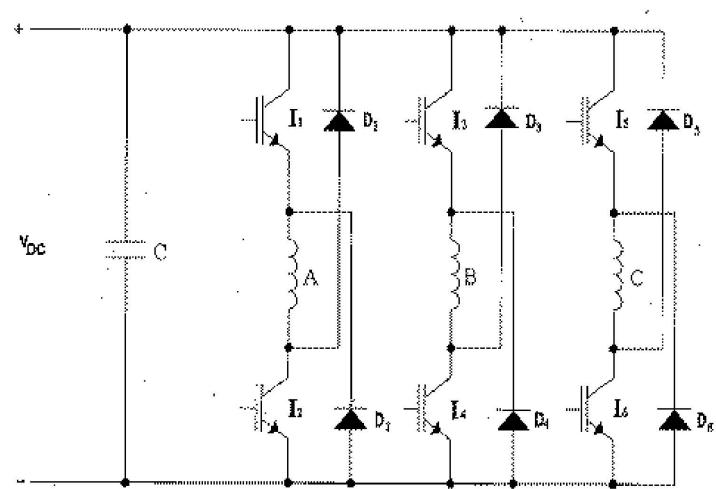


Fig. 3

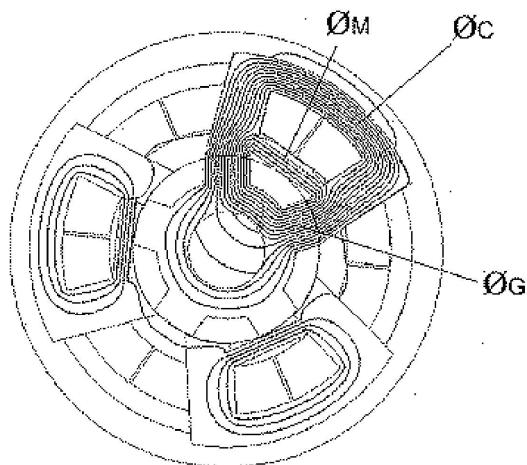


Fig. 4A

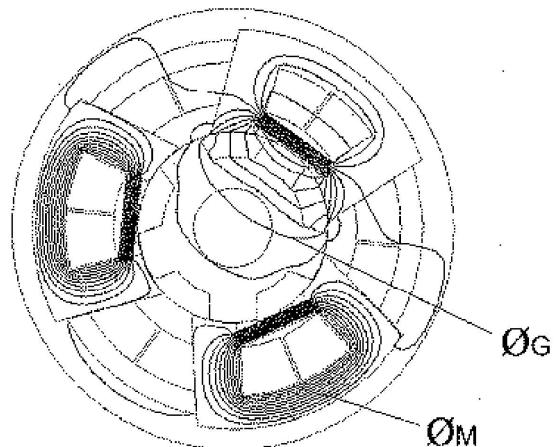


Fig. 4B

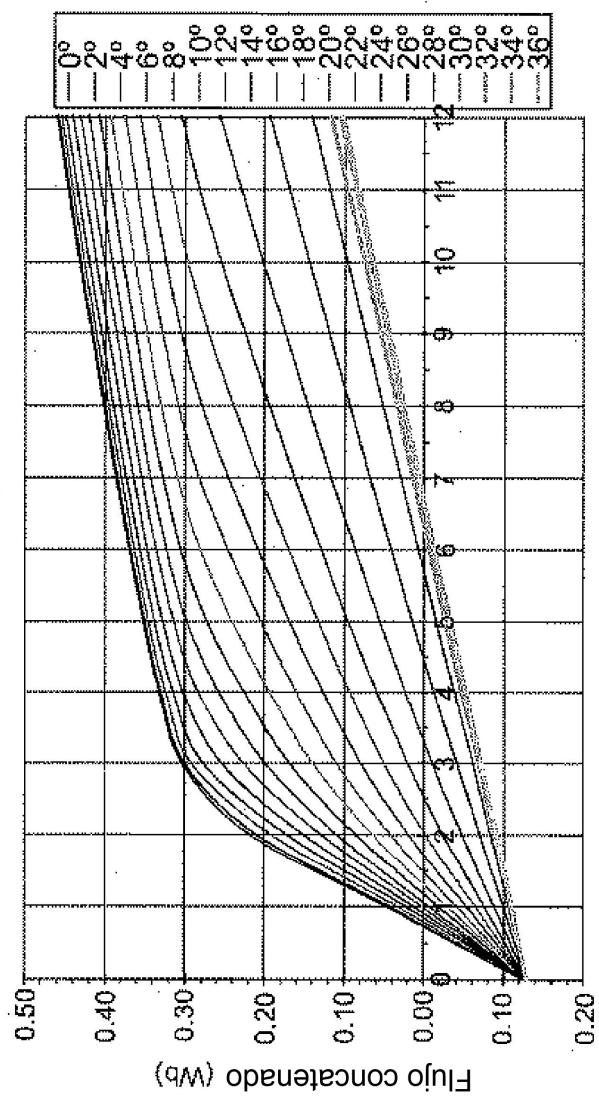


Fig. 5

Corriente (A)

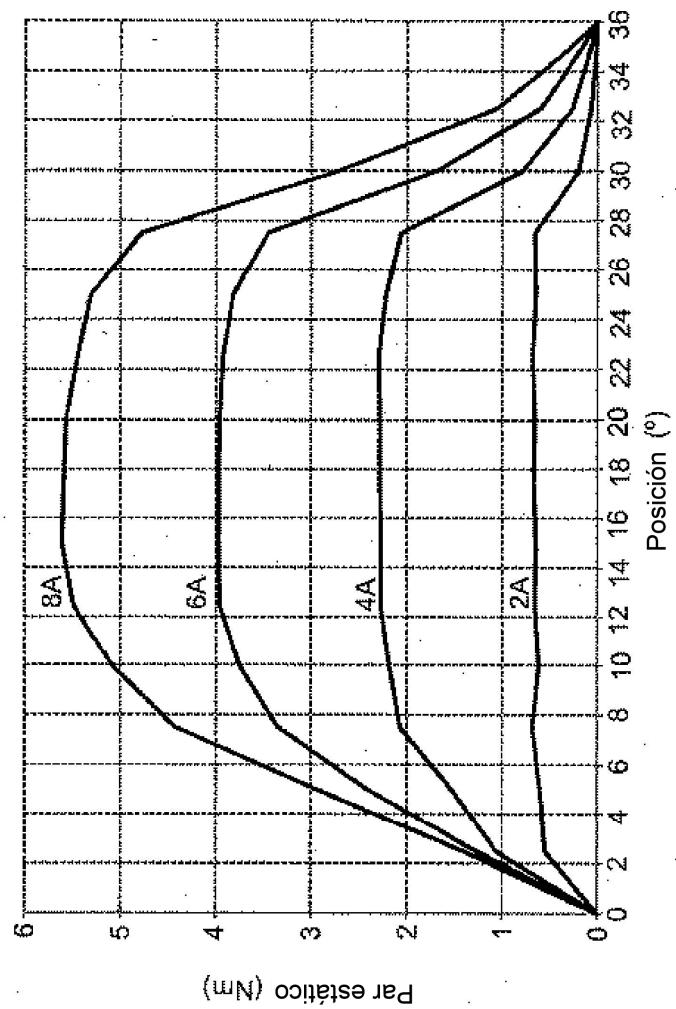


Fig. 6

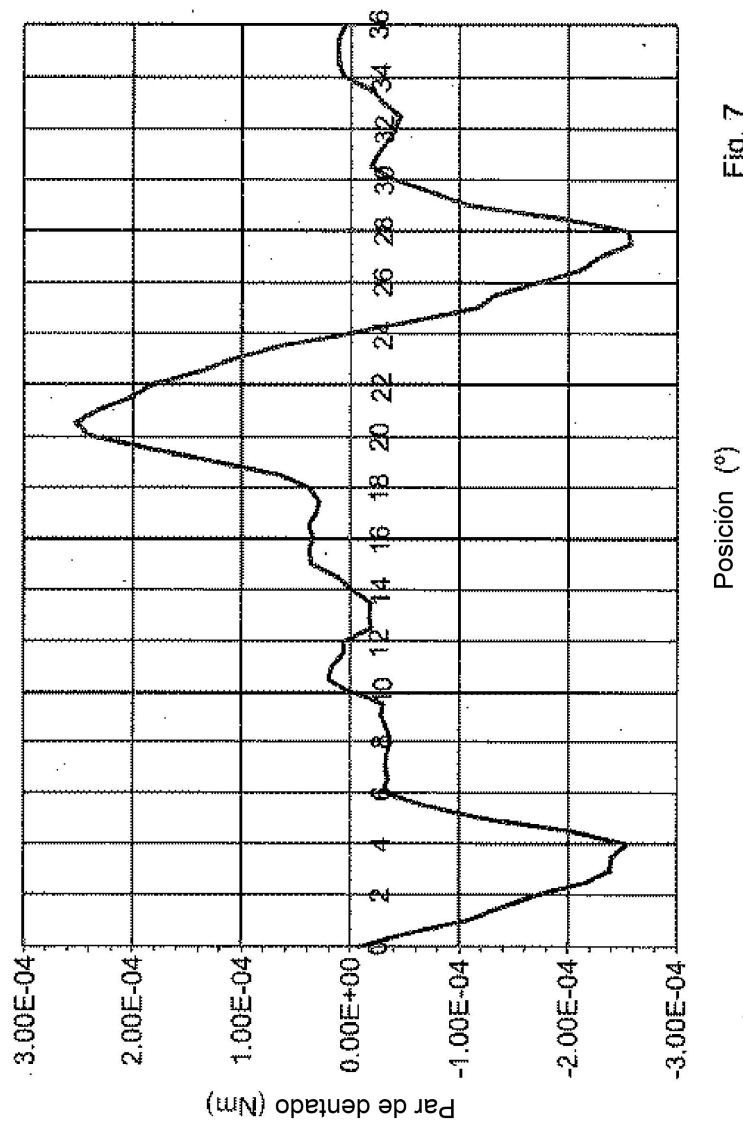


Fig. 7

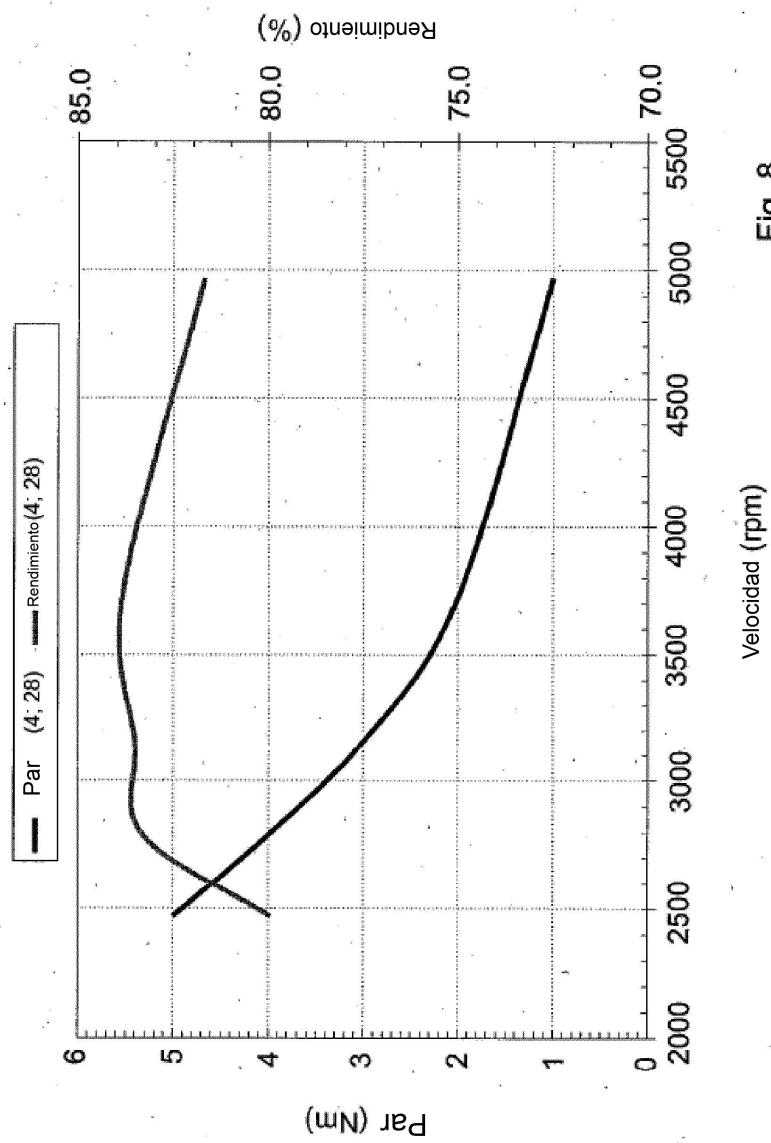


Fig. 8

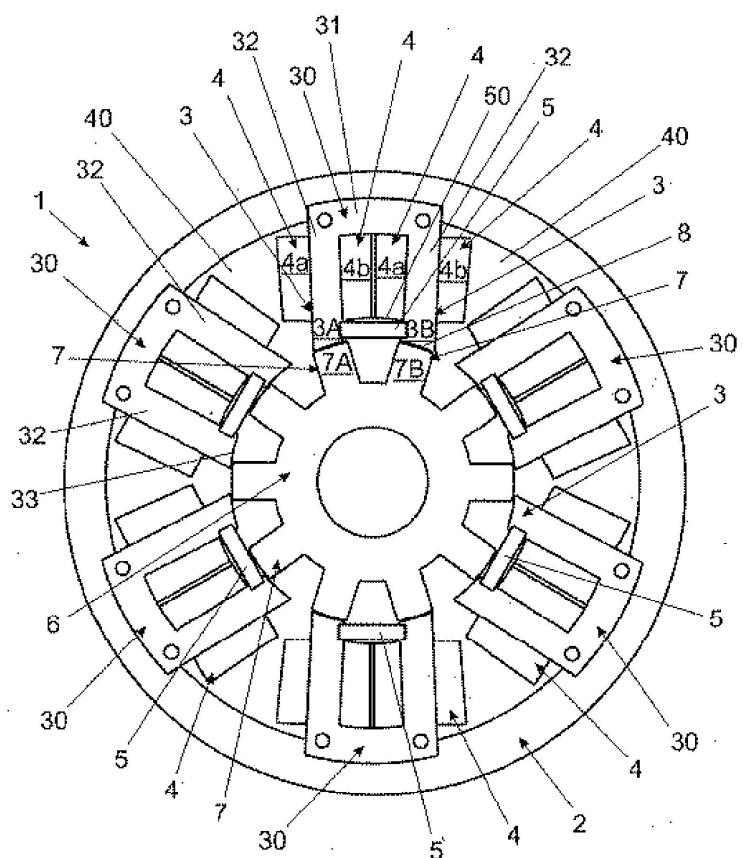


Fig. 9

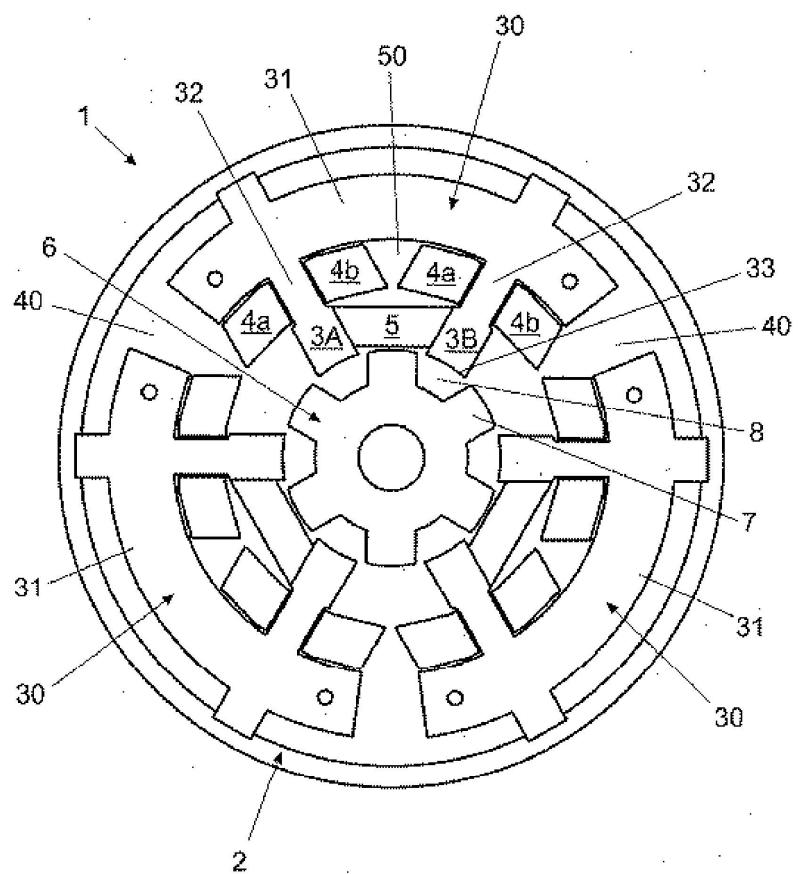


Fig. 10

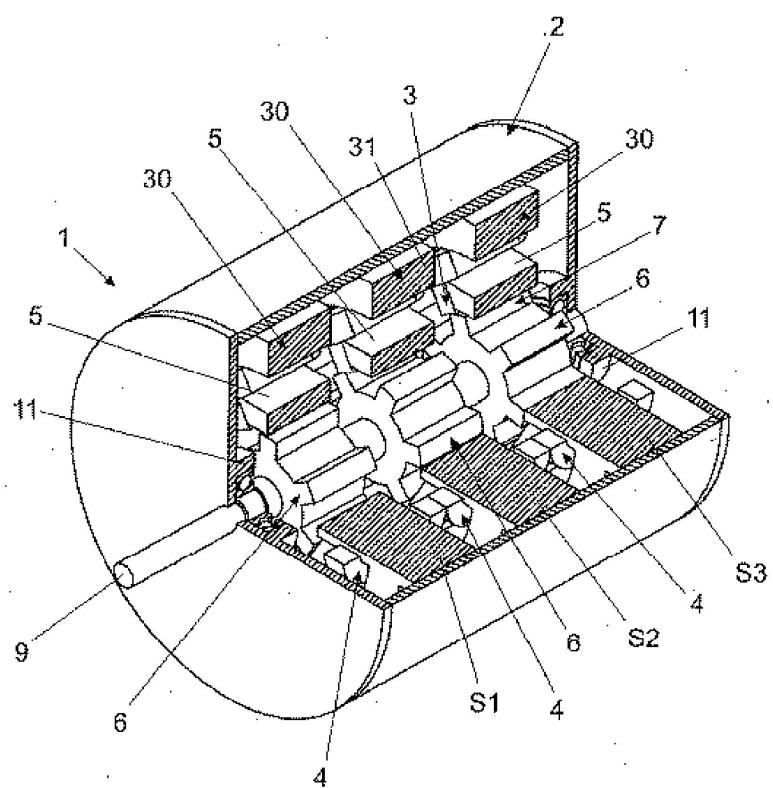


Fig. 11

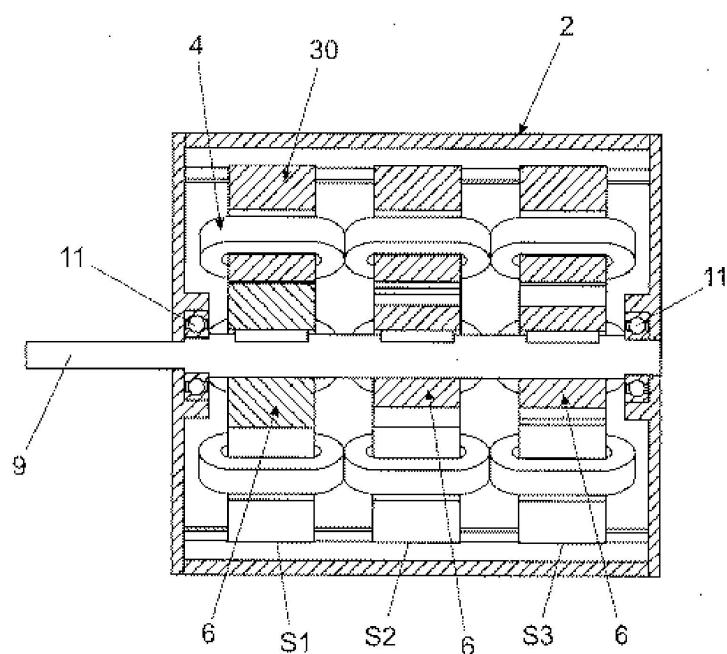


Fig. 12

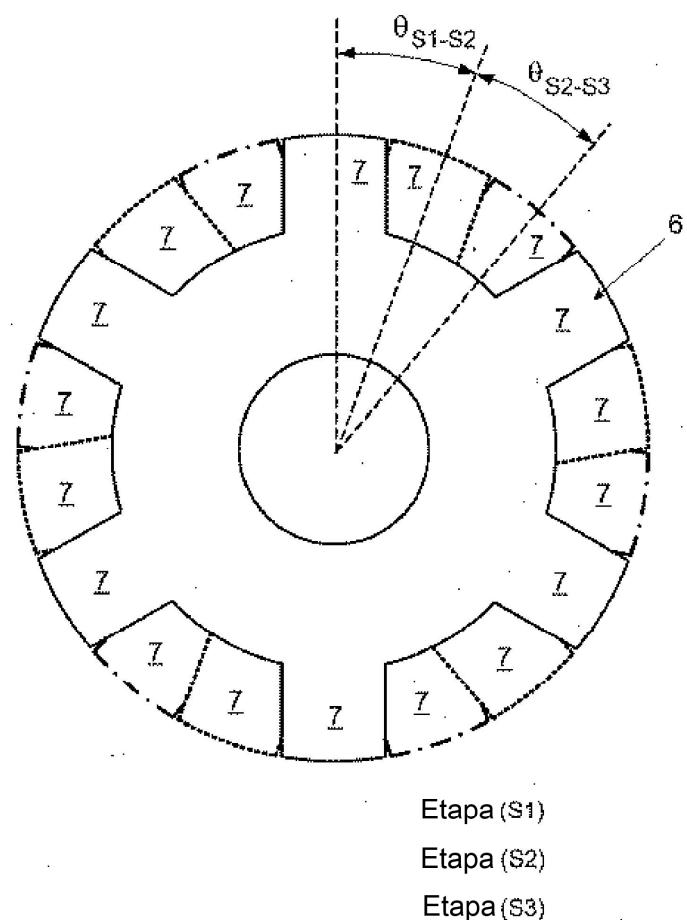


Fig. 13

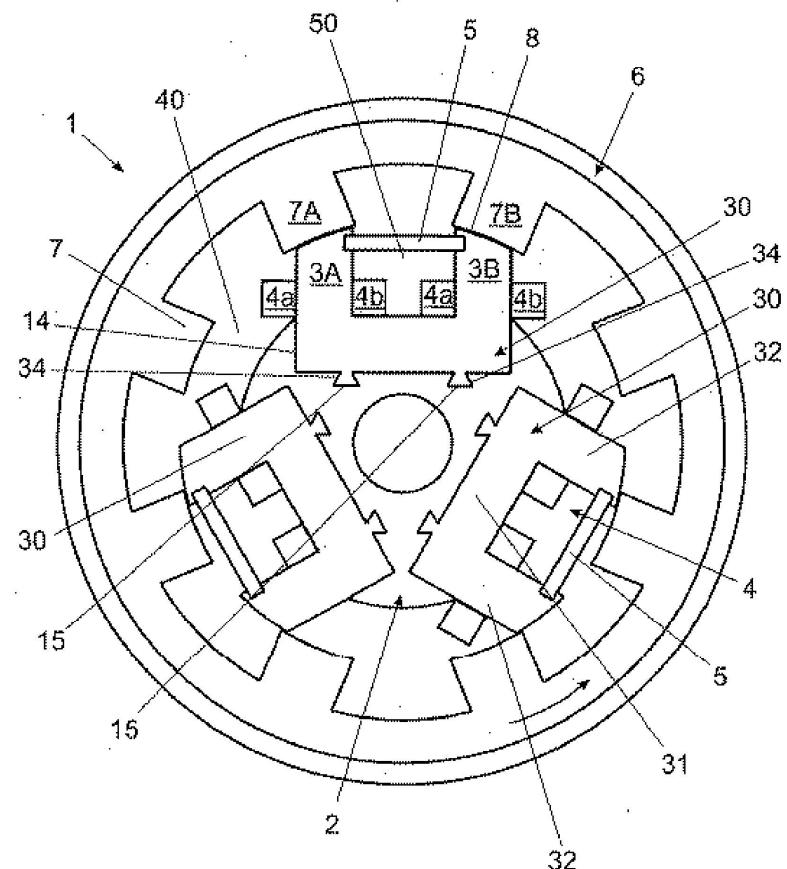


Fig. 14

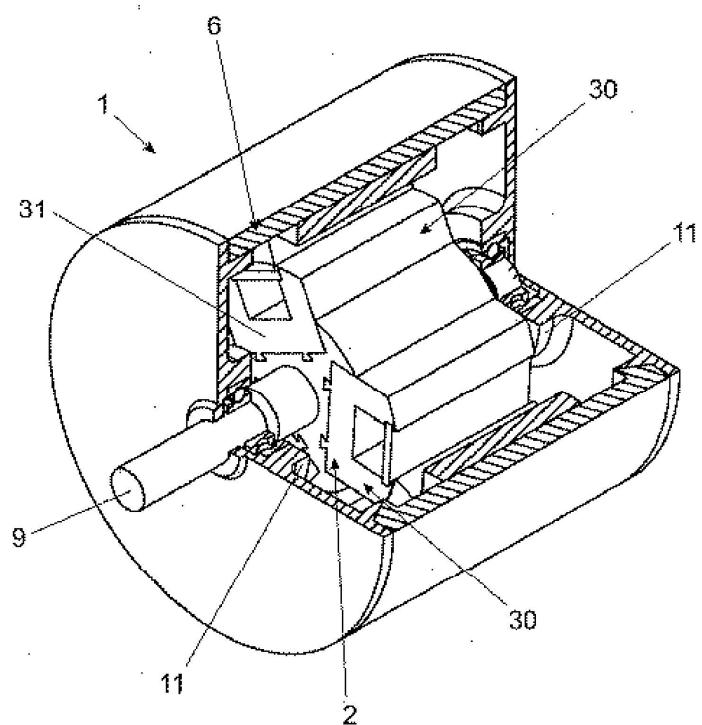


Fig. 15

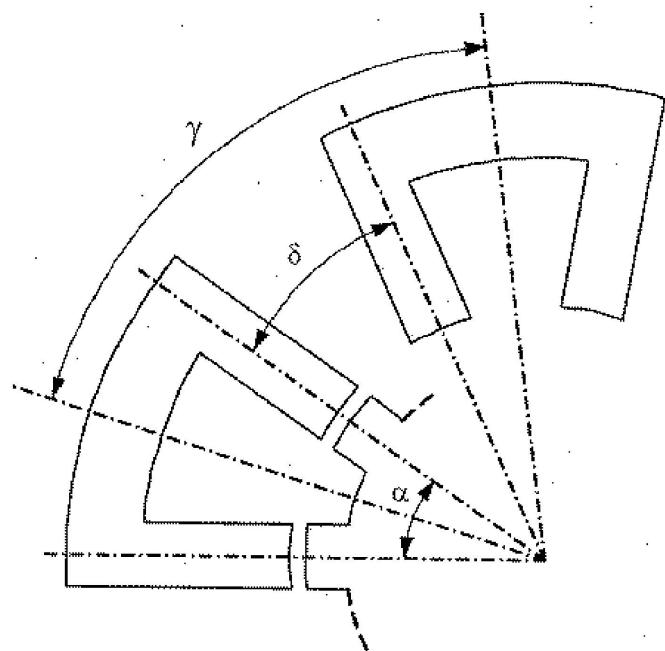


Fig. 16

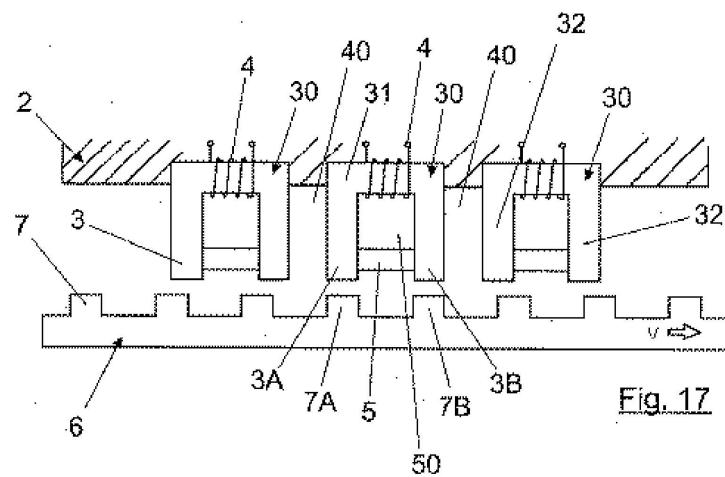


Fig. 17

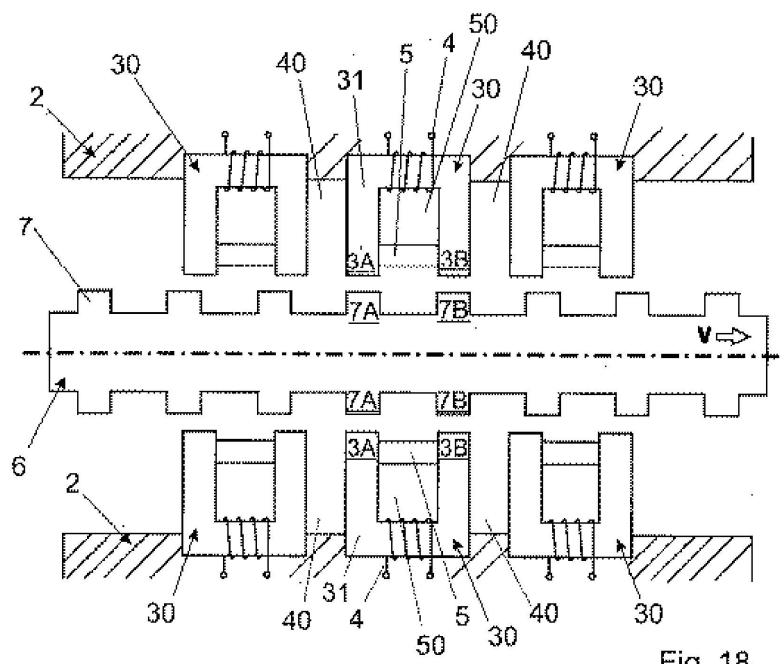


Fig. 18