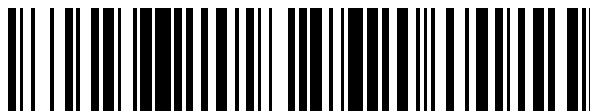


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 212**

21 Número de solicitud: 201631377

51 Int. Cl.:

H02K 1/27

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

26.10.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

03.05.2018

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(100.0%)**

**Jordi Girona, 31
08034 Barcelona ES**

72 Inventor/es:

**ANDRADA GASCÓN, Pere;
MARTÍNEZ PIERA, Eusebi;
TORRENT BURGUÉS, Marcel;
BLANQUÉ MOLINA, Balduí;
PERAT BENAVIDES, José Ignacio y
SÁNCHEZ LÓPEZ, José Antonio**

54 Título: **MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE FLUJO AXIAL Y UN VEHÍCULO ELÉCTRICO QUE COMPRENDE A LA MÁQUINA**

57 Resumen:

Máquina de reluctancia conmutada de flujo axial y un vehículo eléctrico que comprende a la máquina.

La presente invención hace referencia a una máquina de reluctancia conmutada de flujo axial, que comprende:

- un estátor (S) que comprende polos de estátor (p1) distribuidos a lo largo de una primera trayectoria circular en el mismo plano de estátor;
- bobinas de electroimán (L) enrolladas al menos en algunos de los polos de estátor (p1); y
- un rotor (R) que comprende polos de rotor (p2) distribuidos a lo largo de una segunda trayectoria circular en un plano de rotor ortogonal a un eje de rotación, paralelo a dicho plano de estátor y separado de él por un espacio a lo largo del eje de rotación.

Al menos los polos de estátor (p1) o los polos de rotor (p2) están distribuidos de forma no equidistante a lo largo de las trayectorias circulares primera y segunda, respectivamente.

La invención también concierne a un vehículo eléctrico, que comprende un motor eléctrico que incluye a la AFSRM de la invención.

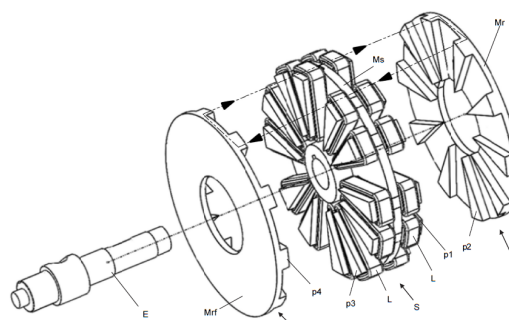


Fig. 5

DESCRIPCIÓN

Máquina de reluctancia conmutada de flujo axial y un vehículo eléctrico que comprende a la máquina.

5

Campo de la invención.

La presente invención, de forma general, hace referencia en un primer aspecto a una máquina de reluctancia conmutada de flujo axial (AFSRM, del inglés “Axial Field
10 Switched Reluctance Machine”), y más particularmente a una AFSRM con una distribución específica de polos de estátor o de rotor, que proporciona una mejora en el rendimiento de la máquina.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un vehículo eléctrico que comprende
15 un motor eléctrico que incluye la AFSRM del primer aspecto de la invención.

Estado de la técnica.

Hoy en día, la máquina de reluctancia conmutada (SRM) es objeto de gran interés,
20 porque no utiliza imanes permanentes, su construcción es simple y robusta, tiene bajos costos de fabricación y un elevado rendimiento. Desde el punto de vista de la conversión electromecánica, la máquina de reluctancia conmutada es un dispositivo rotativo con polos salientes en el estátor y el rotor y excitación única que normalmente funciona fuertemente saturada. El par se produce por la tendencia del rotor a moverse
25 hacia una posición en la que se maximice la inductancia del devanado de fase excitado, es decir, para conseguir el alineamiento de los polos del estátor con los del rotor. Para ello, es necesario un convertidor de potencia, con interruptores de estado sólido, que generen la correcta secuencia de conmutación de las fases para lo cual es necesario conocer la posición del rotor. En aplicaciones de velocidad variable, la máquina de
30 reluctancia conmutada funciona en uno de los tres modos de control: modo de corriente, modo de tensión y modo de pulso único. Generalmente, el control de la máquina de reluctancia conmutada se realiza en el rango de bajas velocidades, mediante control de corriente, manteniendo la corriente dentro de una banda de histéresis o por control de tensión utilizando modulación por ancho de pulsos (PWM). A
35 velocidades altas, el periodo de conducción y las formas de onda de corriente adoptan la característica natural, de acuerdo con los requisitos de velocidad y de par.

Normalmente, las máquinas de reluctancia conmutadas rotativas son máquinas de flujo radial, en las que el flujo del entrehierro está en la dirección radial con respecto al eje de rotación. Este tipo de SRM, por lo general, tiene forma cilíndrica con un estátor externo y un rotor interno en la disposición más común, aunque también pueden disponerse de forma inversa, con un estátor interno y un rotor externo. La máquina de reluctancia conmutada rotativa (SRM) de flujo axial es menos usual, y en ella el flujo del entrehierro es principalmente paralelo al eje de rotación. El estátor y el rotor son placas paralelas dispuestas perpendicularmente al eje de rotación.

10

Recientemente, algunos estudios llevados a cabo en motores de reluctancia de conmutación de flujo axial, demuestran que con este tipo de máquina es posible obtener una mayor densidad de par que en las máquinas de reluctancia conmutada de flujo radial. Estas mejores características de la máquina de reluctancia con conmutación de flujo axial se deben al aumento del volumen que incluye el área del entrehierro, aumento que depende principalmente del diámetro de la máquina, mientras que en la máquina de tipo radial el volumen que incluye el área del entrehierro depende principalmente de la longitud de la máquina.

15

20

El circuito magnético de las máquinas de reluctancia con conmutación axial presenta algunos inconvenientes relativos a su construcción, siendo difíciles de construir utilizando laminaciones.

25

Aunque el primer motor axial de reluctancia variable fue propuesto por Unnewher y Koch ya en 1973, recientemente, algunos autores han hecho contribuciones importantes al desarrollo de máquinas de reluctancia conmutadas de flujo axial (AFSRM). Algunas de dichas máquinas de reluctancia conmutadas de flujo axial se describen en los documentos de patente US5925965, US2002104909A1, US20100295389A1, US20140252913A1, y también en los siguientes artículos:

30

- L. E. Unnewehr and W.H. Koch. "An Axial Air—Gap reluctance Motor for Variable Speed Applications." IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol 93, issue 1, January/February 1974

35

- H. Arihara and K. Akatsu. "Basic properties of an axial-type switched reluctance motor". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 49, No 1, January/February 2013.

- 5 - A. Labak, N.C. Kar. "Designing and prototyping a novel five-phase pancake-shaped axial flux SRM for electric vehicle application through dynamic FEA incorporating flux-tube modeling". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 49, No 3, May/June 2013.
- 10 - R. Madhavan, B.G. Fernandes. "Axial flux segmented SRM with a higher number of rotor segments for electric vehicles". IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 28, No 1, March 2013.
- 15 - T. Lambert, M. Biglarbegan, S. Mahmud. "A novel approach to the design of axial-flux switched reluctance motors". Machines 2015,3, 27-54; doi:10.3390/machines3010027.
- 20 - S. Murakami, H. Goto, O. Ichinokura. "A Study about Optimum Stator Pole Design of Axial-Gap Switched Reluctance Motor". 21th International Conference of Electrical Machines (ICEM), 2-5 September 2014, Berlin, Germany.
- 25 - T. Kellerer, O. Radler, T. Sattel, S. Purfürst. "Axial type switched reluctance motor of soft magnetic composite". Innovative Small Drives and Micro-Motor Systems, 19-20 September 2013, Nuremberg, Germany.
- 30 - J. Ma, R. Qu, J. Li. "Optimal design of an axial flux switched reluctance motor with grain oriented electrical steel". 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMs), 25-28 October 2015, Pattaya City, Thailand.
- 35 Arihara et al. presentan la metodología básica de diseño para la contrapartida axial del SRM rotativo clásico. Murakami et al., han estudiado la optimización de un SRM de 18/12 (polos de estator/polos de rotor) con entrehierro.
- Madahvan et al. han contribuido al desarrollo de la alternativa axial del SRM de rotor segmentado en una máquina con dos rotores y un estátor con devanado toroidal. Labak et al. han propuesto una nueva máquina de SRM multifásica, con forma de torta, con un estátor compuesto por una serie de núcleos en C, cada uno con una bobina individual enrollada en el mismo, dispuestos perpendicularmente a un rotor hecho de aluminio en el cual se han añadido un número adecuado de cubos, los polos del rotor, de material

de elevada permeabilidad En esta máquina, la producción de par se debe a la tendencia de cualquiera de estos cubos a alinearse con los dos polos de un núcleo en C del estátor que se ha energizado. Algunos autores han expuesto los problemas de fabricación de estas máquinas y han propuesto utilizar diferentes materiales para construir su circuito magnético como chapa eléctrica de grano orientado, Ma et al.; compuesto magnético blando, Kellerer et al.; y compuesto magnético blando de laminaciones sinterizadas, Lambert et al.

Normalmente, las líneas de flujo magnético que circulan a través de los polos de los AFSRM propuestos anteriormente siguen largas trayectorias de flujo magnético, ya que cada una de ellas pasa generalmente a través de dos polos de estátor diametralmente opuestos.

No obstante, se han realizado algunos esfuerzos para reducir la longitud de esas trayectorias de flujo magnético y proporcionar trayectos de flujo magnético más cortos, ya que la reducción de estas trayectorias y la no inversión de sentido del flujo magnético tiene como consecuencia la reducción de las pérdidas en el hierro. Así, la AFSRM propuesto por A. Labak et al. tiene trayectos cortos de flujo magnético pero utiliza una disposición engorrosa de núcleos en C en el estátor y cubos en el rotor. T. Lambert et al., proponen combinaciones de estátor y rotor que dan como resultado una trayectoria de flujo corta, pero en el caso de disponer de un segundo rotor daría lugar a dos trayectorias de flujo magnético. La disposición del devanado toroidal, presentada por R. Madhavan et al., genera dos trayectorias de flujo magnético que abarcan cada una el estátor y uno de los rotores opuestos, pero retornan ambos a través de la corona del estátor.

Por lo tanto, las AFSRM discutidas en los artículos citados son claramente mejorables, tanto en lo que respecta a la longitud de las trayectorias de flujo magnético proporcionadas como también con respecto a su estructura, distribución y disposición de los polos del rotor y/o del estátor.

Descripción de la invención.

Es necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que cubra las lagunas halladas en el mismo, proporcionando una AFSRM mejorada, que permita que pasen unas trayectorias de flujo más cortas a través de sus polos.

Con tal fin, la presente invención se refiere, en un primer aspecto, a una máquina de reluctancia conmutada de flujo axial (AFSRM), que comprende, de forma en sí conocida:

5

- un estátor que comprende polos de estátor distribuidos a lo largo de una primera trayectoria circunferencial en un plano de estátor;

- bobinas de electroimán enrolladas en al menos algunos de dichos polos de estátor; y

10

- un rotor que comprende polos de rotor distribuidos a lo largo de una segunda trayectoria circunferencial en un plano de rotor ortogonal al eje de rotación, paralelo a dicho plano de estátor y separado de él por un espacio a lo largo del mencionado eje de rotación, de manera que para algunas posiciones de rotación de dicho rotor respecto al eje de rotación, al menos una porción de un polo de rotor queda enfrentada con al menos una porción de un polo del estátor.

15

Generalmente, el espacio referido es un entrehierro ocupado por aire, aunque se pueden usar otros medios que no sean aire para ocupar dicho espacio, tal como otros tipos de gases.

20

A diferencia de las AFSRM conocidas en el estado de la técnica, donde los polos tanto del estátor como del rotor están distribuidos equidistantemente a lo largo de sus respectivas trayectorias circunferenciales, en la AFSRM propuesta por el primer aspecto de la invención, de forma característica, al menos los polos de estátor o los polos de rotor están distribuidos de forma no equidistante a lo largo de las mencionadas primeras y segundas trayectorias circunferenciales, respectivamente.

25

Dependiendo de cómo se realice la construcción, la máquina descrita por el primer aspecto de la invención funciona como un motor eléctrico o como un generador eléctrico.

30

Para un ejemplo de realización preferido, los polos de estátor se distribuyen de forma no equidistante a lo largo de la primera trayectoria circunferencial y los polos de rotor de forma equidistantemente a lo largo de la segunda trayectoria circunferencial.

35

De acuerdo con una realización de la máquina del primer aspecto de la invención, los polos de estátor están dispuestos espacialmente en pares a lo largo de la primera trayectoria circunferencial, en la que los elementos correspondientes a cada par de polos de estátor están separados angularmente uno de otro un ángulo δ , ordenados en sentido horario como primer y segundo miembros, y en el que el primer miembro de cada uno de los pares de polos de estátor está separado angularmente con respecto al primero de cada par contiguo de polos de estátor un ángulo γ que tiene un valor mayor al de dicho ángulo δ .

10

Para una realización, los polos de rotor deben estar separados angularmente entre sí, a lo largo de la segunda trayectoria circunferencial, un ángulo α de valor igual al resultado de sustraer el valor del ángulo δ al valor del ángulo γ .

15

La máquina del primer aspecto de la invención comprende, para una realización, al menos una bobina de electroimán por cada polo de estátor, donde la bobina de electroimán que se encuentra enrollada en el polo de estátor de cada par de polos de estátor está conectada eléctricamente en serie con la bobina de electroimán enrollada en el polo de estátor adyacente del par contiguo de polos de estátor formando un devanado de fase.

20

Para una variante básica de dicha realización, cada devanado de fase está formado solamente por dichas dos bobinas de electroimán conectadas eléctricamente. Ese es el caso de una máquina que incluye tres fases eléctricas y el estátor tiene solamente tres pares de polos de estátor, cada uno con una bobina de electroimán correspondiente enrollada en el mismo e interconectada como se ha descrito en el párrafo anterior, de manera que se forman tres devanados de fase, cada una con dos respectivas bobinas de electroimán conectadas eléctricamente.

25

30

Para una variante más elaborada de dicha realización, al menos dos bobinas de electroimán conectadas eléctricamente en serie y enrolladas en dos correspondientes primeros polos de estátor adyacentes de dos pares contiguos de polos de estátor forman un devanado de fase para la misma fase eléctrica que dos bobinas de electroimán conectadas eléctricamente en serie y enrolladas en dos correspondientes segundos polos de estátor adyacentes de dos pares contiguos de polos de estátor

35

dispuestos en la primera trayectoria circunferencial diametralmente opuestos con respecto a dichos primeros polos de estátor adyacentes.

Este es el caso, por ejemplo, de cuando la máquina incluye tres fases eléctricas y el estátor tiene seis o más pares de polos de estátor, cada uno con una bobina de electroimán correspondiente enrollada en el mismo e interconectada de acuerdo con dicha variante más elaborada de dicha realización, de manera que se formen seis o más devanados, cada uno por dos respectivas bobinas de electroimán conectadas eléctricamente, en donde cada devanado debe estar conectado eléctricamente a un devanado diametralmente opuesto para formar la misma fase eléctrica.

Aunque para una realización, la máquina del primer aspecto de la invención comprende solamente un estátor y un rotor, configurado como se ha descrito anteriormente, para una realización preferida:

- el estátor comprende polos de estátor adicionales distribuidos a lo largo de una tercera trayectoria circunferencial en un plano de estátor adicional que es paralelo y opuesto al plano de estátor anteriormente mencionado;
- y en el que la máquina comprende un rotor adicional que comprende polos de rotor distribuidos a lo largo de una cuarta trayectoria circunferencial en plano de rotor adicional que es paralelo a dicho plano de estátor adicional y está separado de él por un espacio a lo largo del eje de rotación, de tal manera que para algunas posiciones de rotación de dicho rotor adicional alrededor del eje de rotación, al menos una porción de un polo de rotor del rotor adicional queda enfrentada con al menos una porción de dichos polos de estátor adicionales.

Generalmente, el referido espacio también es un entrehierro ocupado por aire, aunque otro medio distinto al aire puede ser utilizado para ocupar dicho espacio, tal como otros tipos de gases.

Para otras realizaciones, la máquina del primer aspecto de la invención comprende más de un estátor y más de dos rotores, dispuestos como dicho estátor y dicho rotor y dicho rotor adicional de la realización descrita en el párrafo anterior.

Para una variante de dicha realización preferida, los polos de estátor adicionales están

también dispuestos espacialmente en pares a lo largo de la tercera trayectoria circunferencial, y la máquina comprende bobinas de electroimán enrolladas en los polos de estátor adicionales, al menos una bobina de electroimán por cada polo de estátor adicional, donde la bobina de electroimán enrollada en cada polo de estátor adicional está conectada eléctricamente en serie con la bobina de electroimán enrollada en el respectivo polo de estátor opuesto del plano de estátor opuesto, para formar el mismo devanado de fase con la misma, de manera que para cada devanado de fase, cuando se hace circular corriente a través del mismo, se cierra un único bucle de flujo magnético entre dos polos de rotor del rotor, dos polos de estátor, dos polos de estátor adicionales y dos polos de rotor adicionales del rotor adicional.

Generalmente, el rotor y/o el rotor adicional comprenden un miembro de soporte del rotor del cual los polos de rotor o los polos de rotor adicionales sobresalen hacia el estátor, en el que los polos de rotor o los polos de rotor adicionales están unidos o integrados con dicho miembro de soporte. El miembro de soporte está hecho de un material ferromagnético que permite que el arriba mencionado único flujo magnético circule a su través entre los dos polos de rotor correspondientes o los dos polos de rotor adicionales.

Para una realización, el estátor comprende un miembro de soporte del estátor del cual los polos de estátor sobresalen hacia el rotor, o del cual ambos los polos de estátor y los polos de estátor adicionales sobresalen, de caras opuestas del miembro de soporte del estátor, substancialmente la misma distancia (aunque la presente invención también abarca diferentes distancias para otras realizaciones menos preferidas), hacia el rotor y hacia el rotor adicional, respectivamente.

De acuerdo con una realización, el miembro de soporte del rotor es una pieza ferromagnética anular o circular (o una pluralidad de piezas individuales rectas o curvadas que interconectan dos o más polos de rotor), los polos del rotor y/o los polos de rotor adicionales también están hechos de material ferromagnético, y el miembro de soporte de estátor es una pieza anular o circular (o una pluralidad de piezas individuales rectas o curvadas que interconectan dos o más polos de estátor o polos de estátor adicionales), y los polos de estátor y/o polos de estátor adicionales están hechos de material ferromagnético.

Para la anteriormente mencionada realización para la que la máquina del primer

aspecto de la invención comprende solamente un estátor y un rotor, el miembro de soporte de estátor anteriormente mencionado está hecho de material ferromagnético, de manera que una trayectoria de flujo magnético pueda circular a su través cuando pase de un polo de estátor al adyacente.

5

Por el contrario, para aquellas realizaciones en las que la máquina del primer aspecto de la invención comprende dos o más rotores, y por lo tanto las trayectorias de flujo magnético no circulan a través del soporte del estátor sino a través de los soportes de rotor, el miembro de soporte del estátor anteriormente mencionado está hecho de un material no magnético.

10

La construcción del circuito magnético de la máquina de reluctancia de flujo axial supone un desafío, dada la dificultad de hacerlo usando laminaciones. Por lo tanto, para una realización preferida, el estátor y los rotores de la máquina del primer aspecto de la presente invención son construidas utilizando piezas sinterizadas hechas de SMC, (del inglés "Soft Magnetic Composites":_Compuestos magnéticos blandos). Los SMC son partículas de polvo de hierro separadas con una capa aislada eléctricamente. Básicamente los SMC ofrecen una combinación única de saturación magnética y bajas pérdidas de corriente de Foucault, posibilitando la distribución de flujo en 3D y facilitando la producción de piezas en 3D de forma rentable, mediante la metalurgia del polvo.

15

20

La máquina del primer aspecto de la invención puede utilizarse para muchas aplicaciones, pero está especialmente destinada a un motor de tracción directa ubicado en el interior de una rueda.

25

De acuerdo a una realización, la máquina descrita por el primer aspecto de la invención además comprende un árbol fijado al estátor.

30

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un vehículo eléctrico, que comprende:

- un motor eléctrico que incluye la máquina del primer aspecto de la invención;

35

- una fuente de energía eléctrica;

- un sistema de control electrónico alimentado por la referida fuente de energía eléctrica, y con terminales de salida conectados a terminales libres de dichas bobinas de electroimán para proporcionarles señales de control eléctricas para controlar el funcionamiento de la máquina, y
- al menos una rueda mecánicamente acoplada al menos al rotor de la máquina para girar con él bajo el control de dicho sistema de control electrónico

10 **Breve descripción de los dibujos**

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán mejor a partir de la descripción detallada de las realizaciones siguientes, con referencia a los dibujos adjuntos, que deben considerarse de una manera ilustrativa y no limitativa, en los que:

15

La figura 1 es una vista lateral esquemática de la máquina de reluctancia conmutada de flujo axial del primer aspecto de la invención, para una realización de la máquina que está formada por un rotor y un estátor;

20

La figura 2 es una vista frontal del estátor de la AFSRM del primer aspecto de la presente invención, tomada desde el espacio entre el estátor y el rotor, para una realización para la cual el estátor comprende seis polos distribuidos de manera no equidistante a lo largo de una circunferencia y con unas respectivas bobinas de electroimán interconectadas eléctricamente entre sí para formar tres devanados de

25

fase;

30

La figura 3 es una vista frontal del rotor de la AFSRM del primer aspecto de la presente invención, que muestra el espacio entre el estátor y el rotor, para la misma realización de la figura 2, en la cual el rotor comprende cinco polos distribuidos equidistantemente a lo largo de una circunferencia;

35

La figura 4 es una vista lateral esquemática de la AFSRM del primer aspecto de la invención, para una realización donde la máquina comprende dos rotores y un estátor con polos de estátor que sobresalen hacia los polos de ambos rotores;

La figura 5 es una vista esquemática en perspectiva y en despiece de la AFSRM del

primer aspecto de la invención, para la misma realización de la figura 4, en la que se ha representado con línea discontinua una de las trayectorias de flujo magnético cortas, que pasa a través de cuatro polos de estátor y de dos polos de cada uno de dos rotores;

5

La figura 6 muestra esquemáticamente una porción de los rotores y estátor de la figura 5, incluyendo los polos a través de los cuales pasa el flujo magnético que también está representado, mostrando esquemáticamente la conexión eléctrica de las bobinas enrolladas en los polos de estátor (que se ha omitido en la figura 5, por claridad) y que constituyen lo que se ha denominado en el presente documento como doble electroimán a través del cual pasa el flujo magnético;

10

La figura 7 es una vista en perspectiva de la AFSRM del primer aspecto de la invención una vez montada en una carcasa, para una realización;

15

La figura 8 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de accionamiento completo que incluye la AFSRM del primer aspecto de la invención, un convertidor de potencia electrónico conectado eléctricamente a las bobinas del mismo, una unidad de control y un transductor de posición/velocidad dispuesto para detectar la posición/velocidad de la rotación del rotor (es) de la AFSRM;

20

La figura 9 es un diagrama del convertidor electrónico de potencia del sistema de accionamiento de la figura 8, para una realización;

25

La Figura 10 muestra esquemáticamente una distribución de las líneas de campo magnético para la máquina lineal derivada de la AFSRM del primer aspecto de la invención, para la disposición de la Figura 5, calculada usando 2D-FEA (del inglés "Finite Element Analysis");

30

La figura 11 es un diagrama que muestra el par requerido en la rueda respecto a la velocidad y a la pendiente, mostrándose la envolvente par-velocidad que ha de proporcionar el sistema de accionamiento de motor incluyendo la AFSRM del primer aspecto de la invención que ha sido diseñado por los presentes inventores, para su realización;

La Figura 12 muestra las curvas de magnetización de la AFSRM obtenidas usando el 2D-FEA para la máquina lineal de la Figura 9;

- 5 La Figura 13 muestra las curvas de par estáticas de la AFSRM obtenidas usando el 2D-FEA para la máquina lineal de la Figura 9;

- 10 La figura 14 muestra las formas de onda, de tensión de fase, corriente de fase, corriente de bus de continua, par de fase y par total (curva de línea delgada en la parte inferior del gráfico) para un par medio de 122 Nm a 300 rpm, obtenido a partir de simulaciones matemáticas con la AFSRM del primer aspecto de la invención, para el sistema de accionamiento diseñado, realizadas en Matlab-Simulink y utilizando los resultados del 2D-FEA;

- 15 La figura 15 muestra el mismo tipo de formas de onda que en la figura 14, obtenidas también a partir de simulaciones matemáticas con la AFSRM del primer aspecto de la invención, para el sistema de accionamiento diseñado, pero para un par medio de 70 Nm a 600 rpm; y

- 20 La figura 16 es un gráfico que muestra una comparación entre los valores esperados de la envolvente de par-velocidad y los valores simulados (marcas triangulares) con la AFSRM del primer aspecto de la invención, para el sistema de accionamiento diseñado.

Descripción detallada de varias realizaciones

25

La Figura 1 muestra una realización básica de la AFSRM del primer aspecto de la invención, para la cual comprende:

- 30 - un estátor S que comprende un miembro de soporte de estátor Ms en forma de pieza ferromagnética anular desde una cara de la cual se extienden los polos de estátor p1 distribuidos a lo largo de una primera trayectoria circunferencial en un plano de estátor hacia un rotor R;

- bobinas de electroimán L enrolladas en cada polo de estátor p1;

35

- un rotor R que comprende un miembro de soporte de rotor Mr en forma de una pieza

ferromagnética anular desde una cara de la cual los polos de rotor p2 sobresalen hacia el estátor S, y están distribuidos a lo largo de una segunda trayectoria circunferencial en un plano de rotor que es ortogonal a un eje de rotación, en paralelo a dicho plano de estátor y separado de él por un espacio a lo largo de dicho eje de rotación, de manera
5 que para algunas posiciones de rotación de dicho rotor R alrededor de dicho eje de rotación al menos una porción de un polo de rotor p2 queda enfrenteado a al menos una porción de un polo de estátor p1; y

- un árbol E fijado al estátor S, particularmente al miembro de soporte del estátor Ms, y
10 montado en el miembro de soporte del rotor Mr a través de un cojinete en la abertura central del mismo.

Para la realización que se ilustra en la figura 2, el estátor S comprende seis polos p1 distribuidos de manera no equidistante a lo largo de la primera trayectoria circunferencial, espacialmente dispuestos en pares a lo largo de ésta (el óvalo
15 representado en línea discontinua abarca uno de dichos pares), donde los miembros de cada uno de los pares de polos de estátor p1 están separados angularmente entre sí un ángulo δ , siguiendo el sentido de las agujas del reloj como primero y segundo miembros, donde el primer miembro de cada uno de dichos pares de polos de estátor
20 p1 está separado angularmente con respecto al primer miembro de cada par contiguo de los polos de estátor p1 un ángulo γ , de un valor superior al del ángulo δ .

Las bobinas de electroimán L del estátor S de la figura 2 están interconectadas eléctricamente para formar tres devanados de fase W1, W2 y W3, como se puede ver
25 en la figura, es decir, la bobina de electroimán L enrollada en el polo de estátor p1 de cada par de polos de estátor p1 está conectada eléctricamente en serie con la bobina de electroimán L enrollada en el polo de estátor adyacente p1 del par contiguo de polos de estátor p1 formando un devanado de fase. Cada devanado de fase W1, W2 y W3 tiene dos extremos libres que constituyen los respectivos terminales a través de los
30 cuales se aplicarán las señales eléctricas de control cuando se conectan (conexiones no mostradas) al convertidor electrónico de potencia (véase la figura 8).

La figura 3 es una vista frontal del rotor de la AFSRM del primer aspecto de la presente invención, tomada desde el espacio entre el estátor y el rotor, para la misma realización
35 de la figura 2, donde el rotor comprende cinco polos p2 distribuidos equidistantemente a lo largo de la segunda trayectoria circunferencial, y separados angularmente uno de

otro un ángulo α de valor igual o sustancialmente igual al resultado de sustraer el valor del ángulo δ al valor del ángulo γ .

En las figuras 4 y 5 se muestra una realización más elaborada de la AFSRM del primer aspecto de la invención, en la que:

- el estátor S comprende polos de estátor adicionales p3 distribuidos a lo largo de una tercera trayectoria circunferencial en un plano de estátor adicional que es paralelo y opuesto a dicho plano de estátor;

10

- y en el que la máquina dispone de un rotor adicional Rf que comprende un miembro de soporte de rotor adicional Mrf también en forma de una pieza ferromagnética anular, desde una cara de la cual los polos de rotor adicionales p4 sobresalen hacia el estátor S y están distribuidos a lo largo de una cuarta trayectoria circunferencial en un plano de rotor adicional que es paralelo al plano de estátor adicional y está separado de él por un espacio a lo largo del eje de rotación, de modo que para algunas posiciones de rotación del rotor adicional Rf alrededor del eje de rotación, una porción de un polo de rotor adicionales p4 del rotor adicional Rf queda enfrentada con una porción de uno de los polos de estátor adicionales p3.

20

En el caso de la realización mostrada en la figura 5, el eje E atraviesa el rotor adicional Rf (particularmente el miembro de soporte del rotor adicional Mrf), está unido con el estátor S (al miembro de soporte Ms que está hecho de material no magnético) y está montado en los dos miembros de soporte de rotor Mr, Mrf en la abertura central de los mismos usando cojinetes.

25

Los ángulos α , δ , y γ mencionados anteriormente, también son válidos para la distribución de polos de la realización a la que se refiere la figura 5.

Dichos ángulos y también otros parámetros de la AFSRM del primer aspecto de la invención, que deben cumplirse para realizaciones preferidas, se describen a continuación.

30

Para dichas realizaciones preferidas, el número de polos de estátor adicionales p3 es igual al número de polos de estátor p1 y juntos, con las bobinas de electroimán L enrolladas sobre ellos, forman z electroimanes dobles, en donde el número total N_s de

35

polos del estátor S, incluyendo los polos de estátor p1 y los polos de estátor adicionales p3, está determinado de acuerdo con el número de fases eléctricas m de la máquina, todo ello siguiendo las siguientes relaciones:

5

$$Z = k m$$

$$N_S = 2 Z = 2 k m$$

donde k es un número entero denominado multiplicidad.

Para dichas realizaciones preferidas, el número de polos de rotor p2 es igual al número de polos de rotor adicionales p4 e igual a N_R , definido por la fórmula:

10

$$N_R = k(2m - 1)$$

donde:

15

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

y donde:

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

20 Las relaciones anteriores también son válidas para la realización de la figura 2, siendo k = 1, siendo Z en este caso el número de electroimanes simples, N_S el número total de polos de estátor p1 y N_R el número de polos de rotor p2.

25 Las expresiones precedentes relativas a los ángulos para máquinas de 3 y 4 fases (m) se muestran en la siguiente tabla:

k	m	Z	N_S	N_R	$\alpha(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$
1	3	3	6	5	72,00	120,00	48,00
2	3	6	12	10	36,00	60,00	24,00
3	3	9	18	15	24,00	40,00	16,00
4	3	12	24	20	18,00	30,00	12,00

1	4	4	8	7	51,43	90,00	38,57
2	4	8	16	14	25,71	45,00	19,29
3	4	12	24	21	17,14	30,00	12,86
4	4	16	32	28	12,86	22,50	9,64

En las figuras 5 y 6 se representa una de las trayectorias de flujo magnético cortas, que pasa a través de cuatro polos de estátor p1 y dos polos p2 y p4 de cada uno de los dos rotores R, Rf, particularmente cuando circula corriente por uno de los devanados W1, es decir por las bobinas L de un electroimán doble. Se puede observar que la trayectoria de flujo circula también a través de los miembros de soporte de rotor Mr y Mrf.

Las líneas de flujo unen los polos de estátor p1, p3 de ambos lados del estátor S con los polos p2, p4 de los dos rotores R, Rf fuerzan la alineación de estos polos.

La figura 6 es una vista esquemática de un electroimán doble que muestra cómo se conectan sus bobinas L en la posición alineada. En el caso de $k > 1$, los devanados de las fases se obtienen conectando de forma adecuada los Z diferentes electroimanes dobles de cada fase.

Aunque no se muestra, para la realización de la figura 5, dos bobinas de electroimán L conectadas eléctricamente en serie y enrolladas en dos correspondientes polos de estátor adyacentes p1 de dos pares contiguos de polos de estátor p1 forman un devanado de fase W1, W2, W3 para la misma fase circuito eléctrica que dos bobinas de electroimán L conectadas eléctricamente en serie y enrolladas en dos correspondientes polos de estátor adyacentes p1 de dos pares contiguos de polos de estátor p1 dispuestos en la primera trayectoria circunferencial diametralmente opuestos con respecto a dichos primeros polos de estátor p1 adyacentes. En otras palabras, el devanado de fase W1 mostrado en la figura 6 está conectado eléctricamente en serie a un devanado de fase situado diametralmente en oposición con respecto al mismo. Lo mismo ocurre para el resto de devanados de fase W2, W3, constituyendo así una AFSRM para tres fases eléctricas, en donde cada fase eléctrica estará conectada a un circuito eléctrico formado por ocho bobinas conectadas en serie.

La figura 7 muestra una posible realización final de la AFSRM del primer aspecto de la invención una vez montada en una carcasa H.

Preferentemente, el eje E es un árbol hueco a través del cual pasan al menos los cables eléctricos (no mostrados) que conectan los devanados de fase W1, W2, W3 con el convertidor electrónico de potencia.

5

Aunque los polos de estátor p1, p3 y los polos de rotor p2, p4 mostrados en las figuras, tienen una sección transversal triangular, otras formas de sección transversal también son abarcadas por la presente invención, para otras realizaciones (no mostradas), tales como redondas, cuadradas, rectangulares o trapezoidales.

10

Con el fin de obtener un par continuo, las diferentes fases de la máquina deben ser activadas de forma adecuada. Para ello, como se ha indicado anteriormente, la AFSRM debe alimentarse a través de un convertidor electrónico de potencia controlado por un generador de secuencia de conmutación (control) basado en la posición relativa entre estátor y rotor la cual se obtiene de un transductor de posición/velocidad. La figura 8 muestra un diagrama de bloques esquemático de todo el sistema del accionamiento, que incluye un convertidor electrónico de potencia que se conecta eléctricamente a las bobinas L, una unidad de control y un transductor de posición/velocidad dispuesto para detectar la posición/velocidad de rotación del rotor (S) de la AFSRM.

20

La figura 9 muestra un esquema del convertidor electrónico de potencia para el caso de una máquina trifásica. El convertidor electrónico de potencia tiene tantas ramas como fases, cada rama está formada por dos interruptores, IGBTs en el caso de la figura 9, y dos diodos dispuestos según se muestra en la Figura 9. Cuando se activa una fase, los dos interruptores se activan y la corriente fluye por la fase de la máquina, desde la fuente de potencia, siendo la tensión de fase igual a la tensión de la fuente de alimentación. Cuando los dos interruptores se desconectan, la corriente continua circulando por la fase, pero a través de los diodos, siendo la tensión en la fase de polaridad opuesta de la tensión de la fuente de alimentación, permitiendo de este modo la desmagnetización de la fase. Para que esto ocurra, el control debe generar las señales adecuadas de activación de los interruptores, haciéndolos conmutar de acuerdo con la posición relativa entre los polos de estátor y del rotor, determinada por un transductor de posición/velocidad y según las necesidades de la carga.

35

El control genera señales adecuadas de activación de los interruptores de acuerdo con la posición relativa entre los polos del estátor y del rotor, determinada por un

transductor de posición/velocidad, y según las necesidades de la carga. En el rango de baja velocidad, la máquina de reluctancia conmutada por flujo axial se controla por control de corriente, manteniendo la corriente dentro de una banda de histéresis dada o mediante control de voltaje usando PWM, en cualquiera de los métodos escogidos durante el periodo de conducción uno o los dos interruptores pueden trocear (abrir y cerrar) según la estrategia de control. A altas velocidades, ambos interruptores permanecen activados durante el periodo de conducción y las formas de onda de corriente adoptan la forma natural de acuerdo con los requerimientos de velocidad y par. Cuando se necesitan controles específicos, por ejemplo, si se debe minimizar el rizado de par, los ángulos de activación y de bloqueo se seleccionan cuidadosamente, de acuerdo con el modo de control programado dependiendo de la velocidad y del par requerido por la carga.

Los inventores han diseñado un sistema de accionamiento que incluye un motor que implementa la AFSRM del primer aspecto de la invención como se describirá a continuación.

REQUISITOS DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO:

Un motor para un e-escúter ha de diseñarse para proporcionar los requisitos de par y velocidad adecuados para el tamaño y las condiciones de conducción del escúter que ha de impulsar. Además, las prestaciones del motor deben permitir una autonomía razonable para cada carga de la batería. La determinación de la envolvente par-velocidad es el primer paso en el proceso de diseño de un motor de tracción. El motor debe proporcionar suficiente par para superar la resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica y el peso del escúter al subir una pendiente. Además, debe proporcionar el par suficiente para la aceleración. Por lo tanto, la ecuación dinámica de movimiento de un vehículo scooter viene dada por:

$$T = (\mu_r \cos \beta \pm \sin \beta) mgR + \frac{1}{2} \rho C_D A (v \pm v_0)^2 R + k_m m \frac{dv}{dt} R \quad (1)$$

Dónde:

T , es el par en la rueda (Nm)

m , es la masa total del scooter (kg)

β , es el ángulo de inclinación

R , es el radio del neumático (m)

μ_r , es el coeficiente de resistencia a la rodadura

g , es la aceleración de la gravedad (m/s^2)

ρ , es la densidad del aire (kg / m^3)

A , es el área frontal (m^2)

5 v , es la velocidad del escúter (m / s)

v_0 , es la velocidad del viento (m / s)

C_D , es el coeficiente de resistencia aerodinámica

k_m , es el coeficiente de inercia

10 El ángulo de inclinación y la pendiente en porcentaje (p) están relacionados por:

$$\beta = \arctan \frac{p}{100} \quad (2)$$

Los presentes inventores han diseñado un sistema de accionamiento de tracción directa para la motorización de un e-escúter con los parámetros de la Tabla I. Los requisitos que debe verificar el motor se resumen en la Tabla II.

15

TABLA I. Principales parámetros del e-escúter propuesto:

Parámetros	Valores
$m(kg)$	200
$\rho, (kg/m^3)$	0,01
C_D	1,23
$R(m)$	0,7
$A(m^2)$	0,2387; 130/60-13"
k_m	0,6

TABLA II. Principales requisitos del motor:

Requisitos	Valores
<i>Velocidad</i> (máximo)	80 km/h (900 rpm)
<i>Tensión</i>	48 / 72 V
<i>Par a 45km/h</i>	75Nm
<i>Pendiente a 20km y par correspondiente</i>	>35%; 170 Nm

<i>Potencia</i>	4 kW (20 < v < 80 km)
<i>Rendimiento</i>	>88% para un amplio rango de velocidades

Por lo tanto, de acuerdo con los valores mostrados en las tablas anteriores y las ecuaciones (1-2), la envolvente de par-velocidad que debe proporcionar el accionamiento se muestra en la Fig. 11.

DESCRIPCIÓN DEL AFSRM DISEÑADO:

Como se ha indicado anteriormente, con el fin de verificar que el motor de reluctancia conmutado de flujo axial propuesto cumple los requisitos de la Tabla II, se ha diseñado un motor con el objetivo de alcanzar densidades de potencia similares a las de los motores síncronos de imán permanente con rotor exterior, actualmente utilizados para la propulsión de e-escúters (250 W/kg). Las dimensiones exteriores del motor están limitadas a un diámetro de 308 mm y una longitud axial de 116 mm para que pueda encajar dentro de una rueda de 13" (33,02 cm). El motor de reluctancia conmutado de flujo axial diseñado de acuerdo con la realización mostrada en la figura 5, es decir, con un estátor S de doce polos p1, p2 por lado, y dos rotores R, Rf cada uno con diez polos y con la configuración dada a continuación en la Tabla III.

TABLA III. Configuraciones del motor diseñado:

k	m	Z	N_S	N_R	$\alpha(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$
2	3	6	12	10	36	60	24

Como es bien sabido, las prestaciones de las máquinas de reluctancia conmutada son muy sensibles a la longitud del entrehierro, por lo que el entrehierro se ha limitado a 0,5 mm y se han tomado medidas constructivas para asegurar este valor y para evitar entrehierros desiguales a ambos lados del estátor.

ANÁLISIS ELECTROMAGNÉTICO DEL AFSRM DISEÑADO:

El estudio de las máquinas de flujo axial implica un problema electromagnético tridimensional. Por lo tanto, la solución más precisa para modelar la máquina es con el método tridimensional de elementos finitos, 3D-FEM. Sin embargo, este método consume mucho tiempo, y tanto la definición del problema como el proceso de
5 resolución son bastante engorrosos.

Una alternativa probada es realizar simulaciones usando 2D-FEM tomando planos 2D de la geometría de la máquina en distintos radios. Esto significa transformar la máquina de flujo axial en una máquina lineal. En la figura 10 se muestra la distribución de las
10 líneas de campo magnético de la máquina lineal resultante para el radio medio del estátor. Las curvas de magnetización y las curvas de par estático obtenidas, utilizando esta metodología, se muestran en la Fig. 12 y 13, respectivamente.

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO AFSRM DISEÑADO:

15 El sistema de accionamiento a simular incluye todos los elementos mostrados en la figura 8, es decir, el AFSRM, el convertidor de potencia, un convertidor asimétrico (convertidor clásico) con dos interruptores y dos diodos por fase (como se muestra en la figura 9), una unidad de control y un sensor de posición/velocidad. El control debido al
20 limitado rango de velocidades (0 a 900 rpm) es un control de histéresis con ángulos de activación (θ_{ON}) y ángulos de bloqueo (θ_{OFF}) variables y se ha implementado en Matlab-Simulink usando los resultados del análisis de elementos finitos del AFSRM. Las formas de onda de la tensión de fase, corriente de fase, corriente de bus y par total se muestran en la Fig. 14 para un par medio de 122 Nm a 300 rpm con $\theta_{ON} = -5^\circ$ y $\theta_{OFF} =$
25 17° , y en la Fig. 15 para un par medio de 70 Nm a 600 rpm con $\theta_{ON} = -2^\circ$ y $\theta_{OFF} = 14^\circ$. En la Fig. 16, se compara la envolvente de par-velocidad esperada del e-escúter con los resultados obtenidos de la simulación.

Los resultados de las simulaciones anteriores muestran que las prestaciones del
30 sistema accionamiento diseñado se aproximan bastante bien a los requisitos del e-escúter. Sin embargo, debido al notable rizado de par, sería aconsejable cambiar a estrategias de control directo de par.

Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en las
35 realizaciones descritas sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Máquina de reluctancia conmutada por flujo axial, que comprende:

5 - un estátor (S) que comprende polos de estátor (p1) distribuidos a lo largo de una primera trayectoria circunferencial en un plano de estátor;

- bobinas de electroimán (L) enrolladas en al menos algunos de dichos polos de estátor (p1); y

10

- un rotor (R) que comprende polos de rotor (p2) distribuidos a lo largo de una segunda trayectoria circunferencial en un plano de rotor ortogonal al eje de rotación, paralelo a dicho plano de estátor y separado del mismo por un espacio a lo largo de dicho eje de rotación, de manera que para algunas posiciones de rotación de dicho rotor (R) alrededor de dicho eje de rotación, al menos una porción de un polo de rotor (p2) queda enfrentada con al menos una porción de un polo de estátor (p1);

15

caracterizada porque al menos dichos polos de estátor (p1) o dichos polos de rotor (p2) están distribuidos de manera no equidistante a lo largo de dichas primera y segunda trayectorias circunferenciales, respectivamente.

20

2.- Máquina según la reivindicación 1, en la que dichos polos de estátor (p1) están distribuidos de forma no equidistante a lo largo de dicha primera trayectoria circunferencial y dichos polos de rotor (p2) están distribuidos equidistantemente a lo largo de dicha segunda trayectoria circunferencial.

25

3.- Máquina según la reivindicación 1 ó 2, en la que los polos de estátor (p1) están dispuestos espacialmente en pares a lo largo de la primera trayectoria circunferencial, en la que los miembros de cada par de polos de estátor (p1) están separados angularmente entre sí un ángulo δ , ordenados en el sentido de las agujas del reloj como miembros primero y segundo, y en la que el primer miembro de cada uno de dichos pares de polos de estátor (p1) está separado angularmente con respecto al primer miembro de cada par contiguo de polos de estátor (p1) por un ángulo γ , que tiene un valor mayor que el valor de dicho ángulo δ .

30

35

4.- Máquina según la reivindicación 3, en la que los polos de rotor (p2) están separados

angularmente uno de otro, a lo largo de dicha segunda trayectoria circular, un ángulo α que tiene un valor que es igual o sustancialmente igual al resultado de sustraer el valor de dicho ángulo δ al valor de dicho ángulo γ .

5 5.- Máquina según la reivindicación 3 o 4, que comprende al menos una bobina de electroimán (L) por polo de estátor (p1), en la que la bobina de electroimán (L) enrollada en el polo de estátor (p1) de cada par de polos de estátor (p1) está conectada eléctricamente en serie con la bobina de electroimán (L) enrollada en el polo de estátor adyacente (p1) del par contiguo de polos de estátor (p1) que forman un devanado de
10 fase (W1, W2, W3).

6.- Máquina según la reivindicación 5, en la que dos bobinas de electroimán (L) conectadas eléctricamente en serie y enrolladas en dos correspondientes primeros polos de estátor adyacentes (p1) de dos pares contiguos de polos de estátor (p1)
15 forman un devanado de fase (W1, W2, W3) para la misma fase eléctrica que dos bobinas de electroimán (L) conectadas eléctricamente en serie y enrolladas en dos correspondientes segundos polos de estátor adyacentes (p1) de dos pares contiguos de polos de estátor (p1) dispuestos en la primera trayectoria circular diametralmente opuestos con respecto a dichos primeros polos de estátor adyacentes
20 (p1).

7.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que;

- dicho estátor (S) comprende polos de estátor adicionales (p3) distribuidos a lo largo de una tercera trayectoria circular en un plano de estátor adicional paralelo y
25 opuesto a dicho plano de estátor;

- y en el que la máquina comprende un rotor adicional (Rf) que comprende unos polos de rotor adicionales (p4) distribuidos a lo largo de una cuarta trayectoria circular en un plano de rotor adicional que es paralelo a dicho plano de estátor adicional y que
30 está separado de él por un espacio a lo largo del eje de rotación, de manera que para algunas posiciones de rotación de dicho rotor adicional (Rf) alrededor del eje de rotación al menos una porción de un polo de rotor adicional (p4) del rotor adicional (Rf) queda enfrentada con al menos una porción de uno de dichos polos de estátor
35 adicionales (p3).

8.- Máquina según la reivindicación 7, cuando depende de la reivindicación 5 ó 6, en la que los polos de estátor adicionales (p3) están también dispuestos espacialmente en pares a lo largo de la tercera trayectoria circunferencial, y donde la máquina comprende bobinas de electroimán (L) enrolladas en los polos de estátor adicionales (p3), por lo menos una bobina de electroimán (L) por cada polo de estátor adicional (p3), donde la bobina de electroimán (L) enrollada en cada polo de estátor adicional (p3) está conectada eléctricamente en serie con la bobina de electroimán (L) enrollada en el respectivo polo de estátor opuesto (p1) del plano de estátor opuesto, para formar el mismo devanado de fase (W1, W2, W3) con el mismo, de modo que para cada devanado de fase (W1, W2, W3), cuando se hace circular corriente a su través, se cierra un único bucle de flujo entre dos polos de rotor (p2) del rotor (R), dos polos de estátor (p1), dos polos de estátor adicionales (p3) y dos polos de rotor adicionales (p4) del rotor adicional (Rf).

9.- Máquina según la reivindicación 8, en la que el número de polos de estátor adicionales (p3) es igual al número de polos de estátor (p1) y juntos, con las bobinas de electroimán (L) enrolladas sobre ellos mismos, forman Z electroimanes dobles, donde el número total N_S de polos de estátor (S), incluyendo los polos de estátor (p1) y los polos de estátor adicionales (p3), se da según el número de fases eléctricas de la máquina, m, mediante las siguientes relaciones:

$$Z = k m$$

$$N_S = 2 Z = 2 k m$$

donde k es un número entero denominado multiplicidad,

donde el número de polos de rotor (p2) es igual al número de polos de rotor adicionales (p4) e igual a N_R , definido por la fórmula:

$$N_R = k(2m - 1)$$

donde:

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

y donde:

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

- 10.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en la que dicho rotor (R) y/o rotor adicional (Rf) comprenden un miembro de soporte de rotor (Mr, Mrf) del cual los polos de rotor (p2) o polos de rotor adicionales (p4) sobresalen hacia el estátor (S), donde los polos de rotor (p2) o los polos del rotor adicionales (p4) están unidos o integrados con dicho miembro de soporte (Mr, Mrf).
- 11.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en la que dicho estátor (S) comprende un miembro de soporte de estátor (Ms) del cual los polos de estátor (p1) sobresalen hacia el rotor (R), o del cual ambos los polos de estátor (p1) y los polos de estátor adicionales (p3) sobresalen, desde caras opuestas del soporte de estátor (Ms), substancialmente la misma distancia, hacia el rotor (R) y hacia el rotor adicional (Rf), respectivamente.
- 12.- Máquina según la reivindicación 11 cuando dependa de la reivindicación 10, en la que dicho miembro de soporte de rotor (Mr, Mrf) es una pieza ferromagnética anular o circular, estando hechos los polos de rotor (p2) y/o los polos de rotor adicionales (p4) también de un material ferromagnético, y en el que dicho miembro de soporte de estátor (Ms) es una pieza no magnética anular o circular, estando los polos de estátor (p1) y/o los polos de estátor adicionales (p3) hechos de un material ferromagnético.
- 13.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que dicho rotor (R) comprende un miembro de soporte de rotor (Mr) del cual los polos de rotor (p2) sobresalen hacia el estátor (S), donde los polos de rotor (p2) están unidos o integrados con dicho miembro de soporte (Mr).
- 14.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, o según la reivindicación 13, en la que dicho estátor (S) comprende un miembro de soporte de estátor (Ms) del cual los polos de estátor (p1) sobresalen hacia el rotor (R).
- 15.- Máquina según la reivindicación 14, que comprende solamente un estátor (S) y un rotor (R), donde dicho miembro de soporte de rotor (Mr) es una pieza ferromagnética anular o circular, los polos de rotor (p2) están hechos también de un material ferromagnético, y donde dicho miembro de soporte de estátor (Ms) es una pieza

ferromagnética anular o circular, estando los polos de estátor (p1) hechos de un material ferromagnético.

5 16.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en la que al menos dichos polos de rotor (p2, p4) y polos de estátor (p1, p3) están hechos de piezas sinterizadas de compuestos magnéticos blandos.

10 17.- Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que al menos dichos polos de rotor (p2) y polos de estátor (p1) están hechos de piezas sinterizadas de compuestos magnéticos blandos.

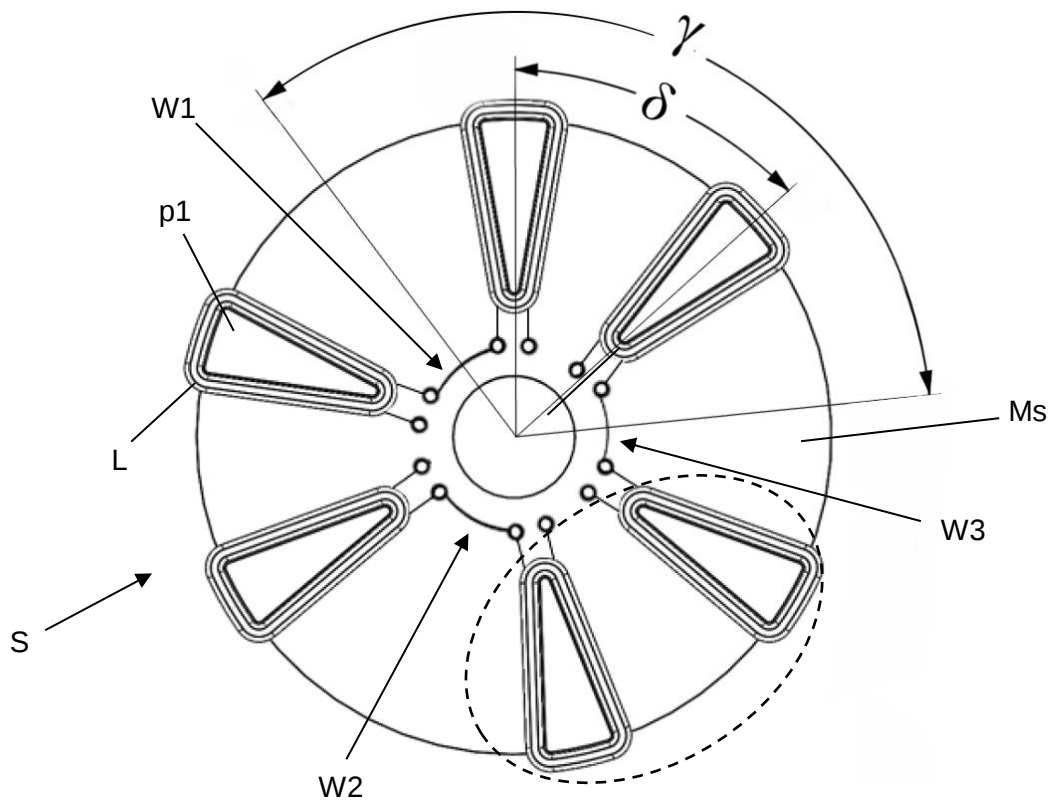
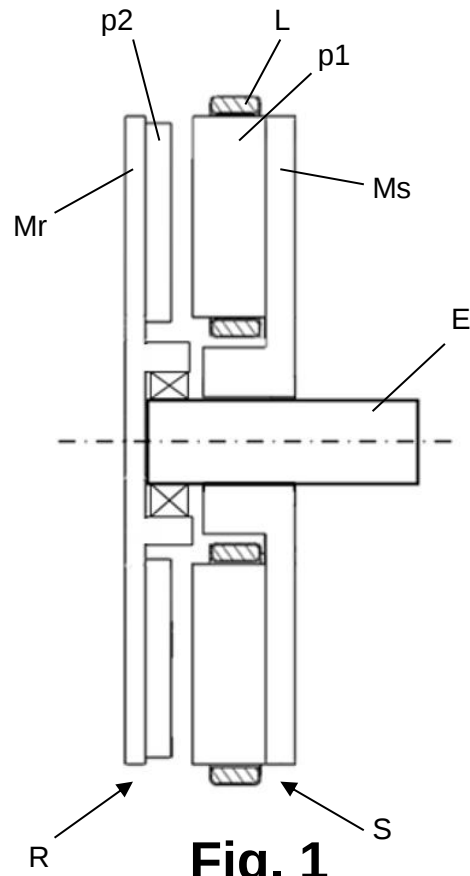
18.- Un vehículo eléctrico, que comprende:

15 - un motor eléctrico que incluye la máquina de cualquiera de las reivindicaciones anteriores;

- una fuente de energía eléctrica;

20 - un sistema de control electrónico alimentado por dicha fuente de energía eléctrica y con terminales de salida conectados a terminales libres de dichas bobinas de electroimán para proporcionarles señales de control eléctricas para controlar el funcionamiento de la máquina, y

25 - al menos una rueda, acoplada mecánicamente al menos al rotor de la máquina para girar con él bajo el control de dicho sistema de control electrónico.



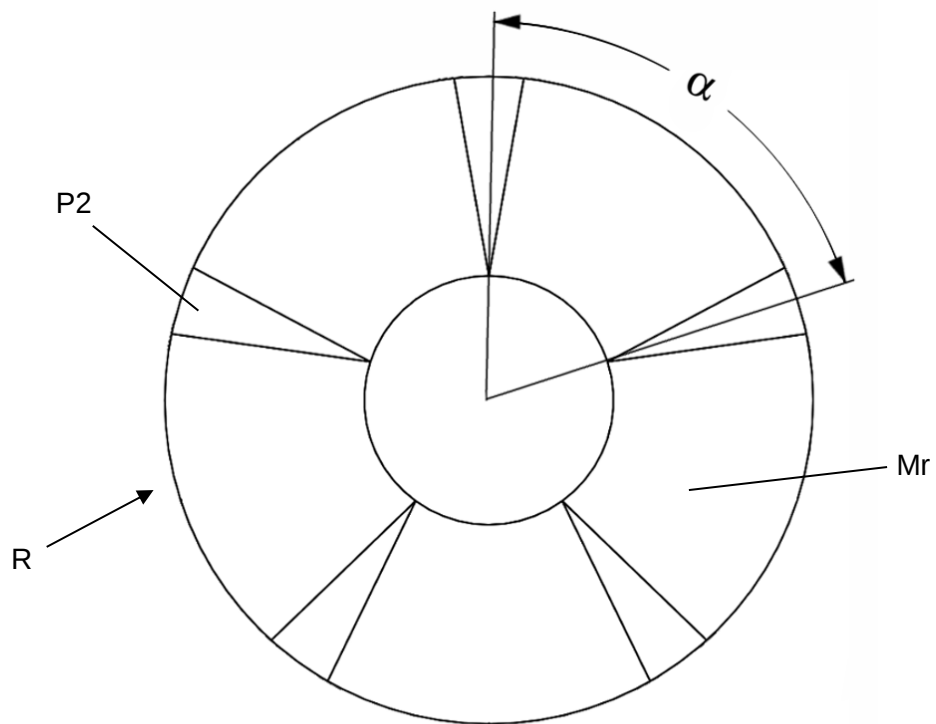


Fig. 3

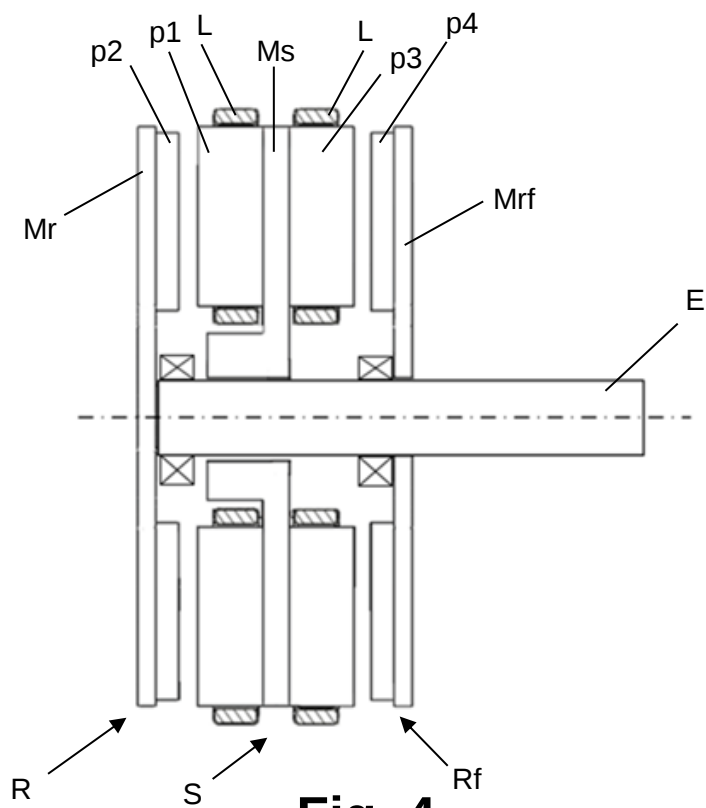


Fig. 4

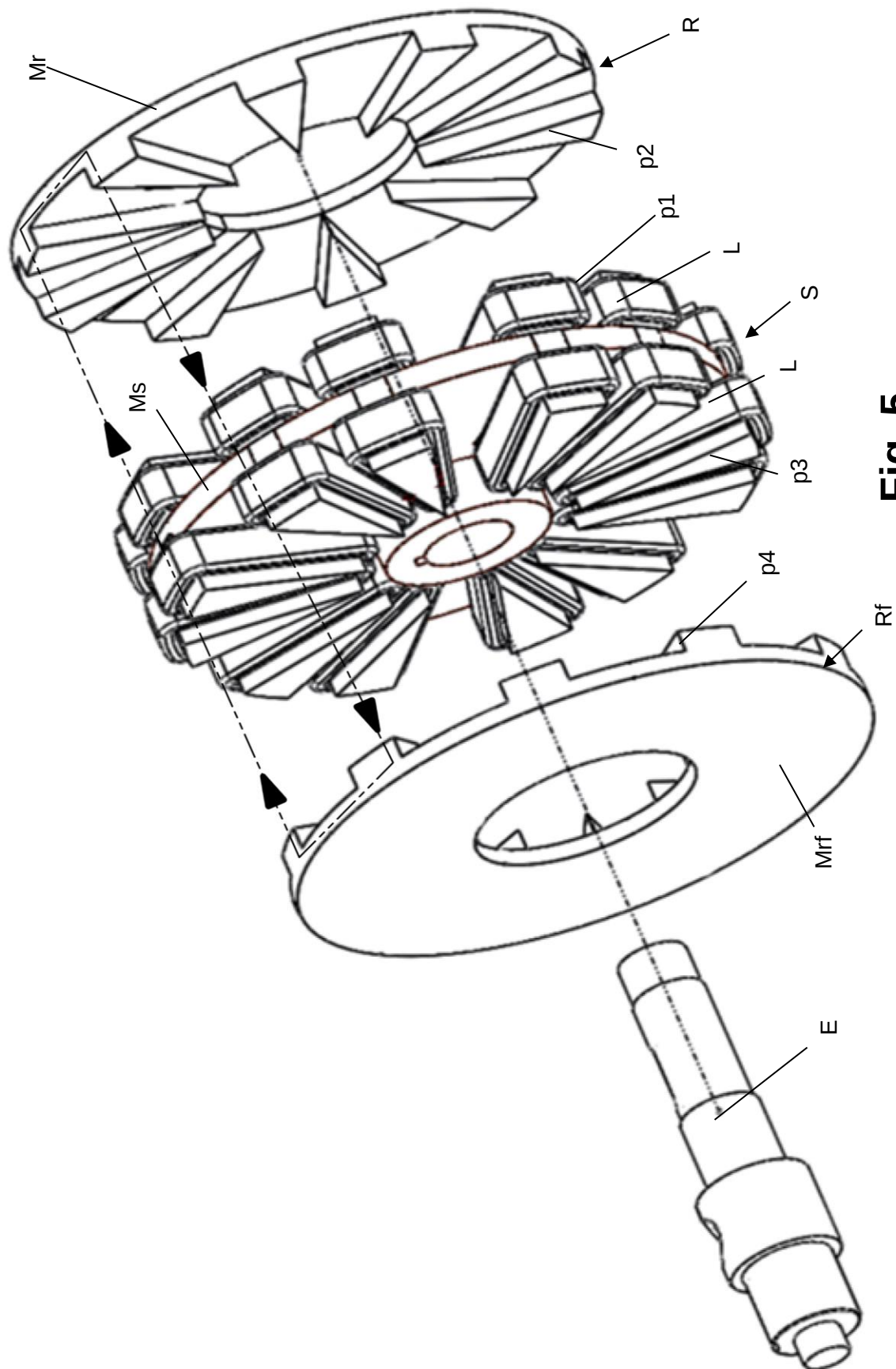


Fig. 5

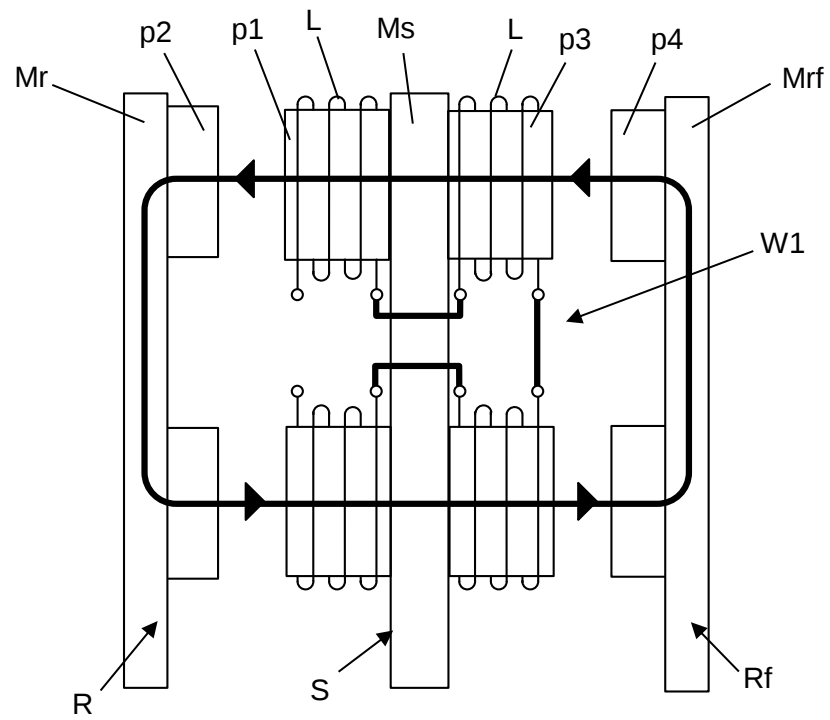


Fig. 6

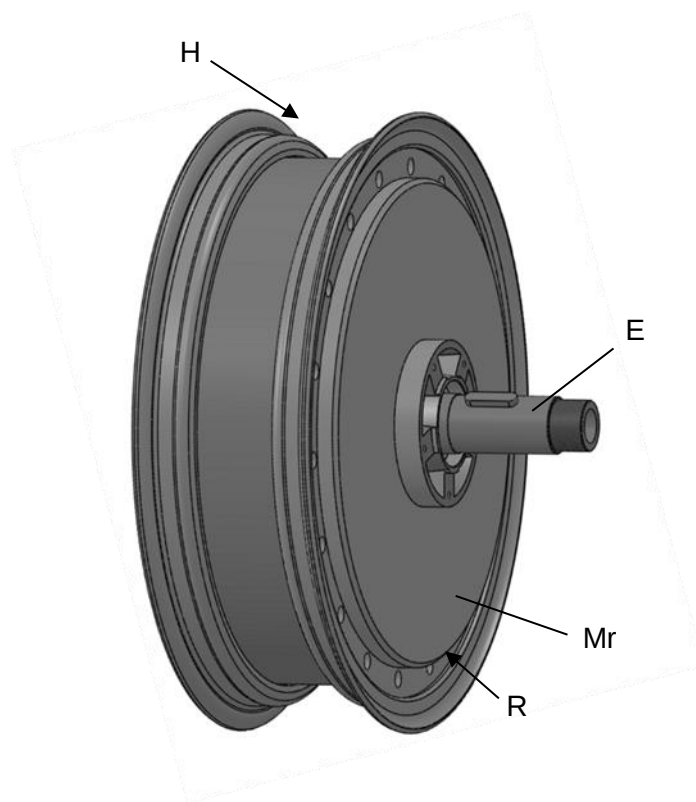


Fig. 7

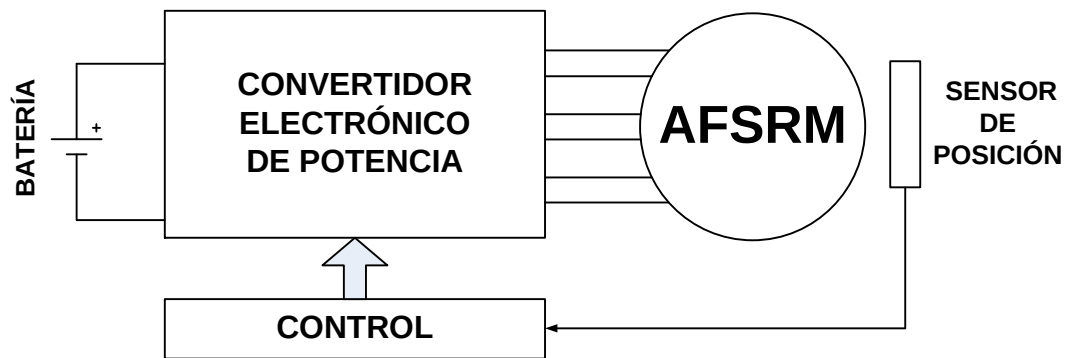


Fig. 8

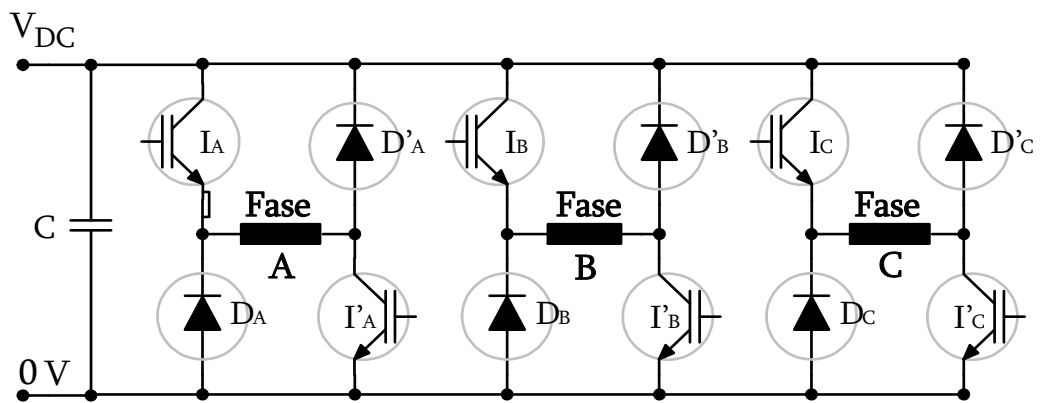


Fig. 9

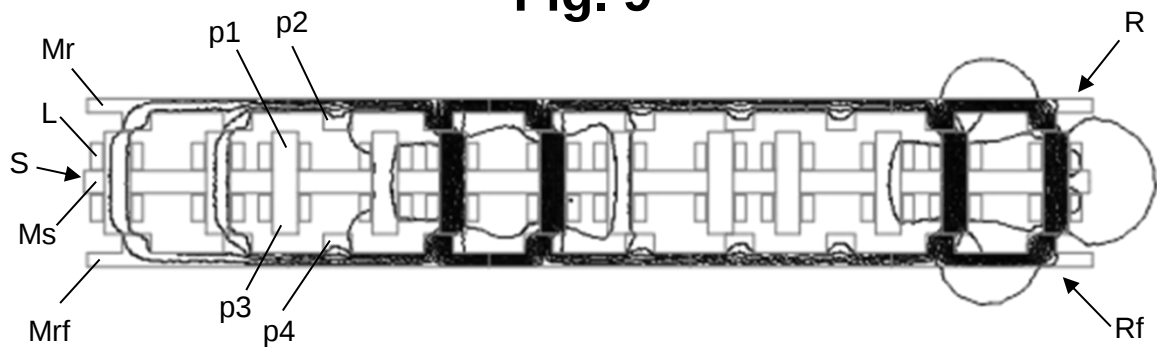


Fig. 10

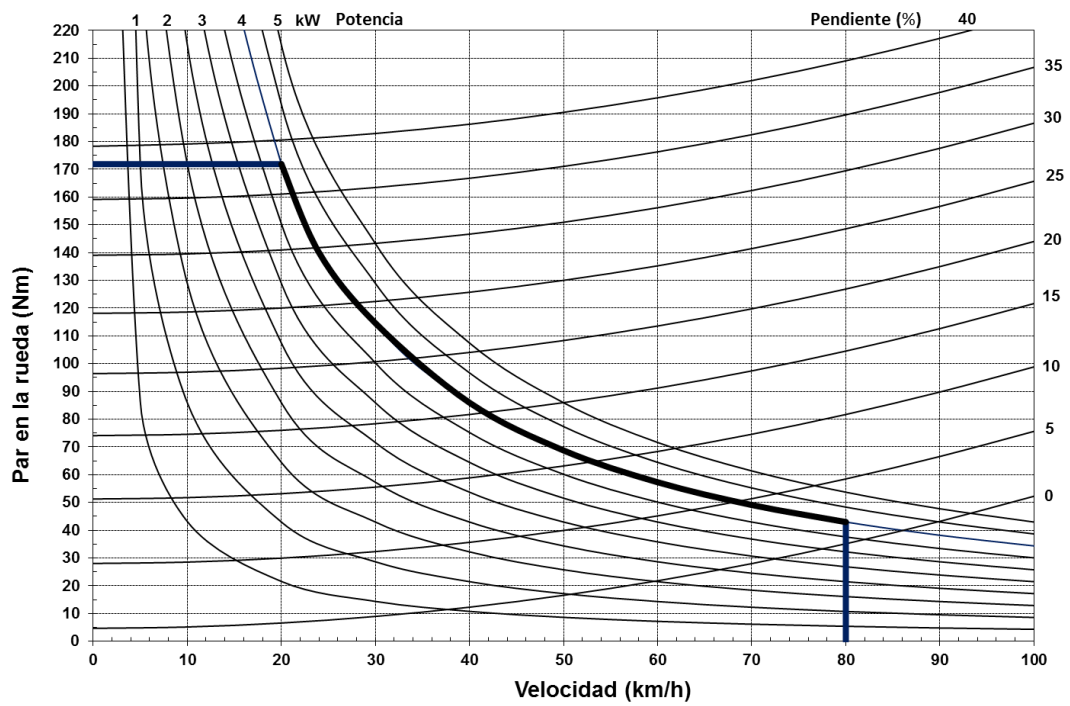


Fig. 11

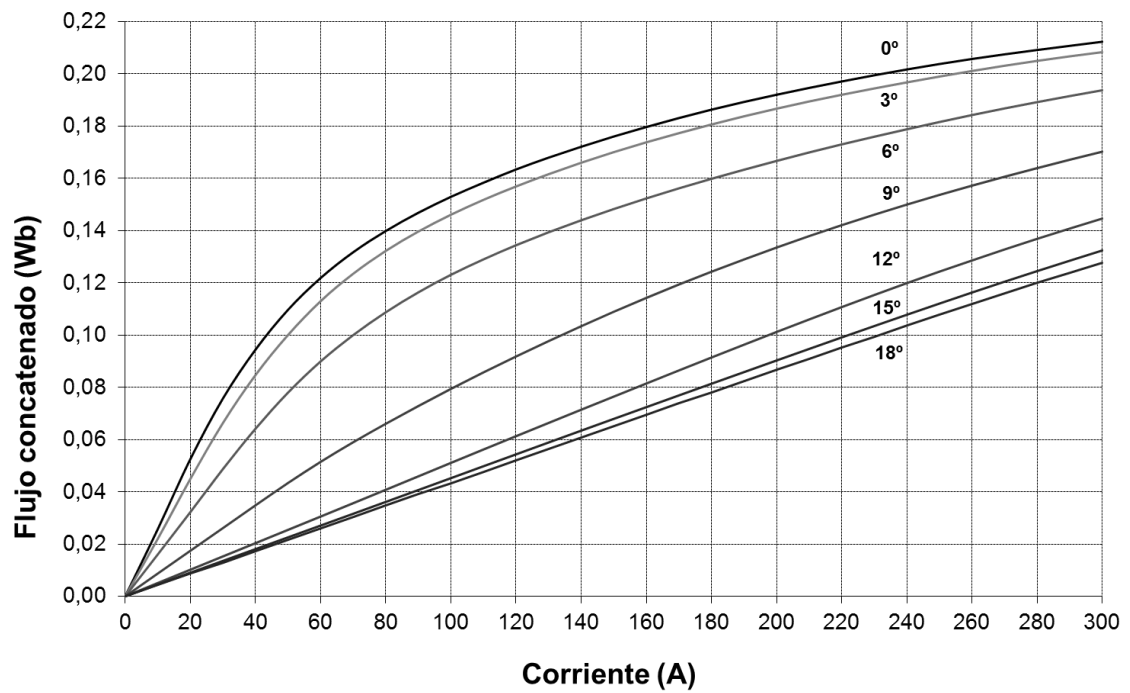


Fig. 12

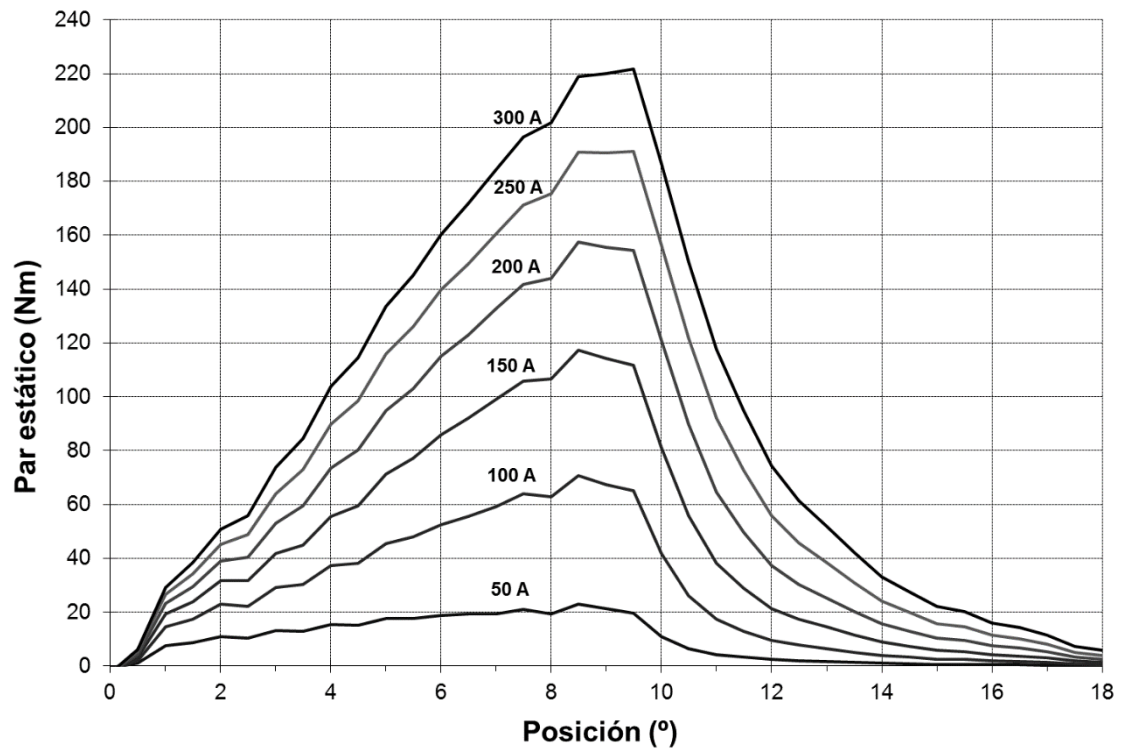


Fig. 13

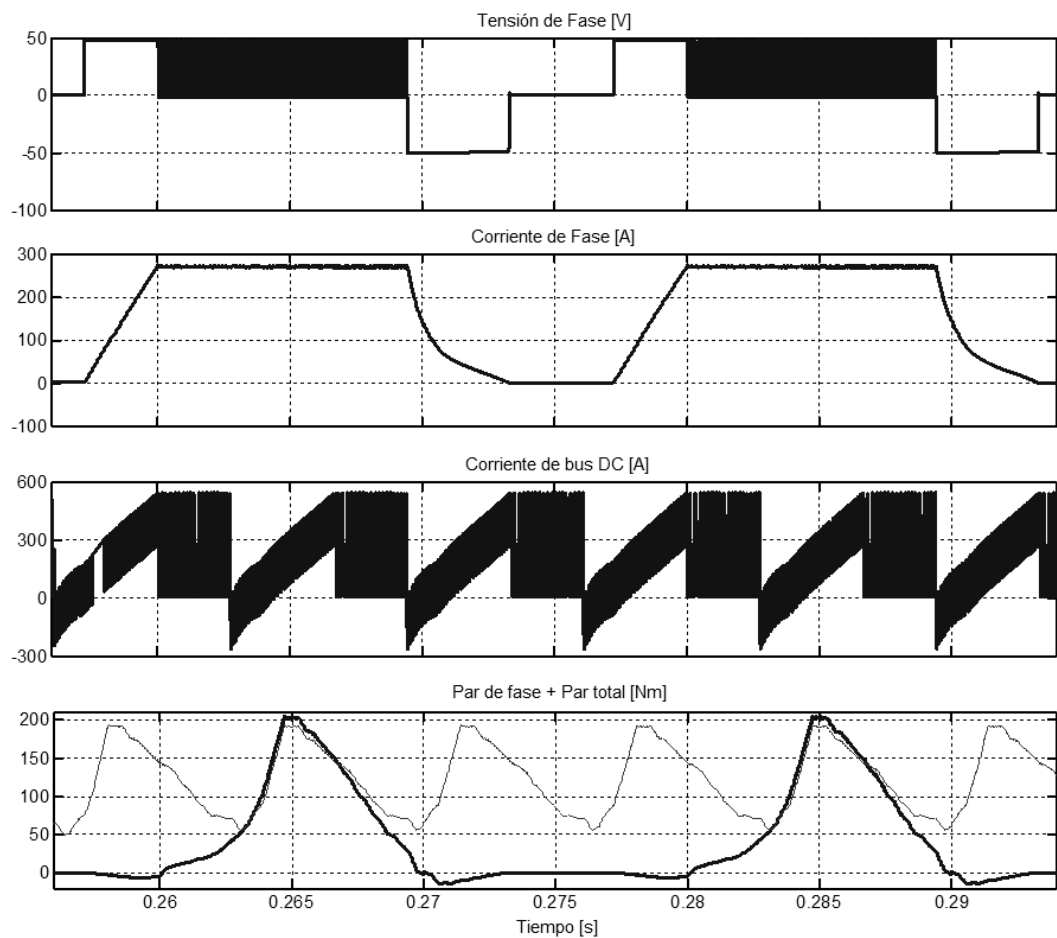


Fig. 14

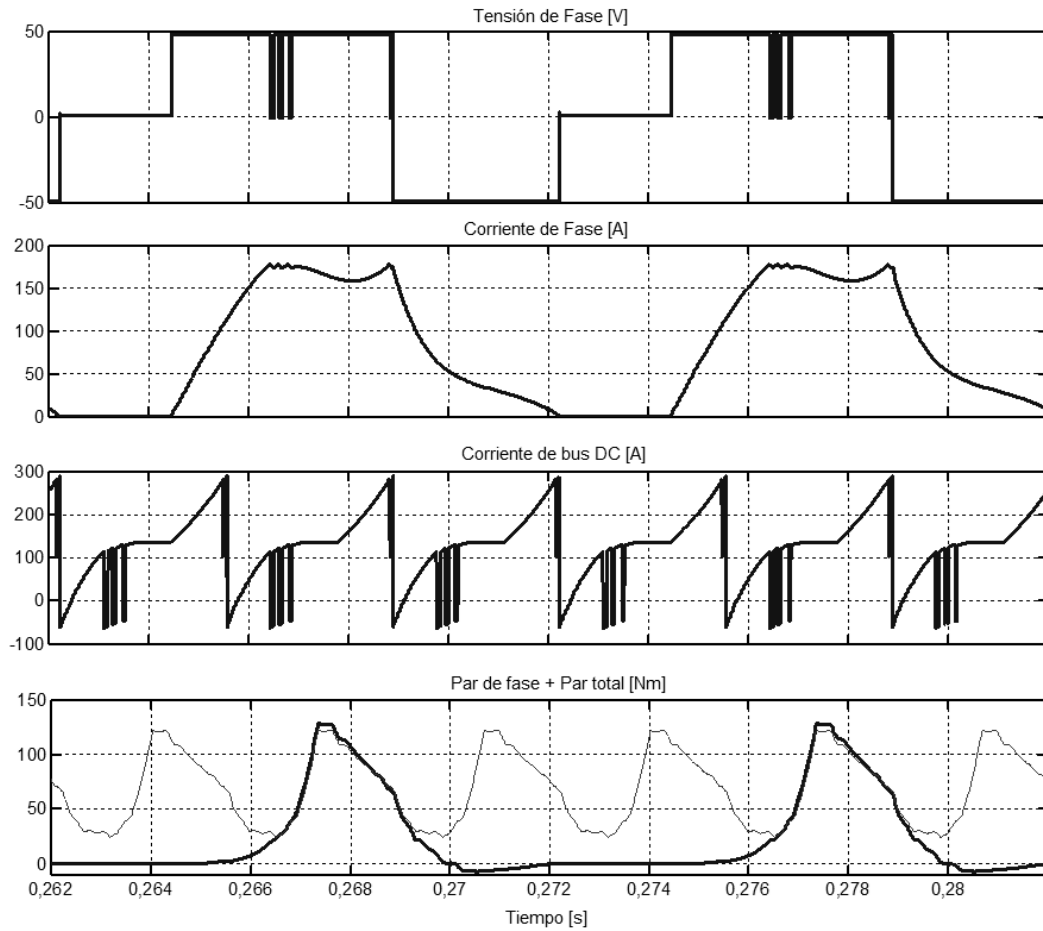


Fig. 15

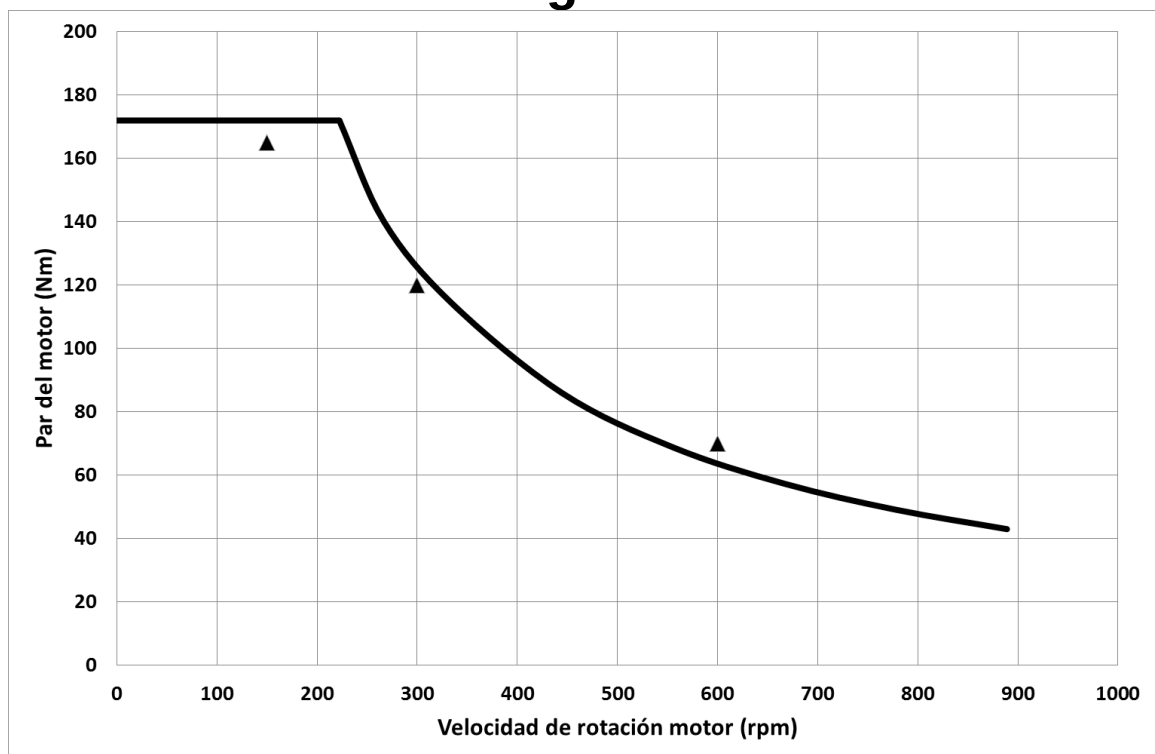


Fig. 16



- (21) N.º solicitud: 201631377
(22) Fecha de presentación de la solicitud: 26.10.2016
(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl.: **H02K1/27** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y A	US 2012001502 A1 (LEE YEE-CHUN; YANG CHUNG CHING) 05/01/2012, Párrafos [0041]-[0056]; figuras 1-4	1-3, 5-18 4
Y A	WO 2015073647 A1 (BROOKS AUTOMATION INC) 21/05/2016, Párrafo [0101]	1-3, 5-18 4
Y	EP 2869433 A1 (SC BMENERGY SRL; UNIV TEHNICA DIN CLUJ NAPOCA) 06/05/2015, Párrafo [0028]; figuras	9
A	WO 9638903 A1 (TOEROEK VILMOS ET AL) 05/12/1996, Página 31, líneas 20-32	1
A	CN 204597737 U (LIU JIGEN) 26/08/2015, Recuperado de EPOQUE, base de Datos EPODOC. Resumen y figuras.	1-18
A	Potgieter Johannes H J; Marquez-Fernandez Francisco J; Fraser. PERFORMANCE EVALUATION OF A HIGH SPEED SEGMENTED ROTOR AXIAL FLUX SWITCHED RELUCTANCE TRACTION MOTOR. 04/09/2016, Páginas 531- 537 [en línea][recuperado el 13/07/2017]. <DOI: doi:10.1109/ICELMACH.2016.7732577>	1-18

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
29.01.2018

Examinador
L. J. García Aparicio

Página
1/6

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H02K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, INSPEC, XPESP, XPIEEE

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.01.2018

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-18

SI

Reivindicaciones

NO**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones 4

SI

Reivindicaciones 1-3, 5-18

NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2012001502 A1 (LEE YEE-CHUN; YANG CHUNG CHING)	05.01.2012
D02	WO 2015073647 A1 (BROOKS AUTOMATION INC)	21.05.2016
D03	EP 2869433 A1 (SC BMENERGY SRL; UNIV TEHNICA DIN CLUJ NAPOCA)	06.05.2015
D04	WO 9638903 A1 (TOEROEK VILMOS et al)	05.12.1996
D05	CN 204597737 U (LIU JIGEN)	26.08.2015
D06	Potgieter Johannes H J; Marquez-Fernandez Francisco J; Fraser. PERFORMANCE EVALUATION OF A HIGH SPEED SEGMENTED ROTOR AXIAL FLUX SWITCHED RELUCTANCE TRACTION MOTOR. XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM),, Páginas 531- 537 [en línea][recuperado el 13/07/2017]. <DOI: doi:10.1109/ICELMACH.2016.7732577>	04.09.2016

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D1 se considera representa el estado de la técnica más cercano al objeto de la invención y divulga (todas las referencias corresponden con el documento D1), una máquina de reluctancia conmutada (véase resumen, etc) que comprende:

- un estator (201, 202, figura 2) provisto de una serie de polos de estator (203) distribuidos a lo largo de una primera trayectoria circunferencial (figura 3)
- bobinas de electroimán (204) enrolladas en al menos algunos de dichos polos de estator
- un rotor (2019) que comprende polos de rotor (209) distribuidos a lo largo de una segunda trayectoria circunferencial (figura 4) paralelo al plano del estator (figura 2) y separado del mismo un espacio, donde al menos una porción de un polo de rotor queda enfrentada con al menos una posición de un polo de estator.

se diferencia la materia reivindicada de la divulgada en D1, en que en D1 no se divulga que al menos bien los polos de estator o bien los polos del rotor están distribuidos de manera no equidistante a lo largo de dicha primera y segunda trayectorias circunferenciales.

Sin embargo, el documento D2, en su párrafo [0101] divulga una máquina de reluctancia conmutada que puede ser de aplicación a máquinas de flujo axial (véase párrafo [00157]) y en la que se divulga que la distribución de los polos del estator puede no ser uniforme (véase párrafo [0101]).

Por lo tanto un técnico en la materia que partiera del documento D1 sería evidente considerar la posibilidad de no tener una distribución no uniforme en al menos el estator como ha sido reivindicado.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 2ª

Lo reivindicado, es decir que los polos del estator no están distribuidos de manera uniforme, es lo que directamente divulga el documento D2. (párrafo [00101])

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 3ª

La disposición de los pares de polo de estátor en cuanto a la separación entre ellos y la separación de cada par de polos parece una configuración evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 4ª

La separación de los polos del rotor que tenga que ser mayor o igual al resultado de restar al ángulo de separación entre pares de polos la separación entre polos contiguos de pares diferentes, no está divulgada por ningún documento.

Tampoco podría afirmarse que sería evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto la materia de esta reivindicación contaría con novedad y actividad inventiva según lo establecido en los Art 6.1 y 8.1 de la LP11/86.

Reivindicación 5ª

La conectividad entre las bobinas, en particular la conexión en serie de la bobina de un polo con la bobina del polo adyacente es una realización evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 6ª

La conexión de bobinas de polos de estátor con bobinas de polos adyacentes es algo evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 7ª

La presencia de un rotor adicional se puede observar en el documento D1 y en la que al menos una porción del rotor adicional queda enfrentada con al menos uno de los polos de l estátor adicional.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 8ª

La conectividad de los bobinados de los polos del estátor adicional con la bobina del estátor opuesto para formar devanados es algo evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 9ª

En esta reivindicación se reivindica un determinado número de polos de estátor y rotor, particularmente un número inferior de polos de rotor respecto del estátor. En el documento D3 se divulga la posibilidad de tener un número inferior de polos.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 10ª

En el documento D1 se divulga que el rotor adicional comprende un miembro de soporte del cual sobre salen los polos de rotor adicionales hacia el estátor quedando todos integrados.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 11ª

En el documento D1 se puede observar cómo la máquina comprende un miembro de soporte de estátor del cual los polos del estátor sobresalen hacia el exterior hacia el rotor y el rotor adicional.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 12ª

Que la pieza de soporte del rotor y del rotor adicional sea ferromagnética es algo evidente y necesario, así como que la pieza de soporte del estátor es una pieza no magnética anular o circular.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 13ª

La integración de los polos del rotor con la pieza soporte es algo evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 14ª

El documento D1 muestra cómo el estátor comprende un miembro de soporte de estátor (Ms) del cual los polos de estátor sobresalen hacia el rotor (R).

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 15ª

La disposición de un solo estátor y un rotor estando dicho rotor dispuesto sobre una pieza ferromagnética anular o circular, con los polos hechos de material ferromagnético y donde también la pieza de soporte del estátor es una pieza ferromagnética anular o circular y que los polos estén hechos de material ferromagnético, es algo habitual en los motores de flujo axial y por lo tanto evidente para un técnico en la materia.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 16ª

La fabricación de los polos con materiales sinterizados de compuesto magnéticos blandos, es algo conocido en el sector.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 17ª

Al igual que en el caso anterior la fabricación de los polos (p2) y (p1) del rotor y estátor respectivamente es algo evidente para un técnico en la materia y por lo tanto carente de actividad inventiva.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86

Reivindicación 18ª

En el documento D6 se divulga el uso de un motor de reluctancia conmutada para flujo axial, por lo tanto sería evidente el empleo de las características divulgadas en D1 y D2 junto con una fuente e energía, un sistema de control y al menos una rueda conseguir un vehículo eléctrico.

Por lo tanto, la materia de esta reivindicación carece de actividad inventiva según lo establecido en el Art 8.1 de la LP 11/86