

PATENTE DE INVENCION
MOTOR SINCRO ULTRADELGADO Y ULTRALIVIANO CON CONTROL DE
VELOCIDAD AUTOMÁTICO Y ELECTROMECÁNICO

CAMPO TECNOLÓGICO

La presente invención se sitúa en el campo del diseño de sistemas electromecánicos para la generación de energía mecánica mediante motores, particularmente del diseño de motores eléctricos síncronos de imanes permanentes, a los que se puede adaptar un control de velocidad y dirección de giro electromecánico.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los motores eléctricos son máquinas electromecánicas que, por su eficiencia y versatilidad, han sido el centro de especial atención para muchos investigadores desde el siglo XIX, y es notable que hoy día son objeto de intenso y apasionado interés debido a su amplia gama de aplicaciones, constituyéndose en parte fundamental del funcionamiento de muchas plantas industriales, y de aparatos y dispositivos utilizados en la vida cotidiana.

Es común encontrar estas máquinas en equipos industriales tales como bombas, ventiladores, compresores, centrifugadoras, equipos de reducción de tamaño y bandas transportadoras; en medios de transporte como los automóviles eléctricos, las bicicletas eléctricas, trenes, aviones y barcos; en sistemas de climatización como los equipos de aire acondicionado y de calefacción; en equipos de aplicaciones médicas, en herramientas eléctricas, en electrónica de consumo, en electrodomésticos, entre otros.

Los motores eléctricos se fundamentan en el principio de la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica de rotación mediante la acción de campos magnéticos generados a partir de imanes permanentes y bobinas. Las fuerzas de atracción y repulsión entre estos campos producen un torque que permite romper el estado de inercia de la máquina dando como resultado el movimiento rotativo del eje, este movimiento es transmitido a conveniencia según la aplicación para la cual esté diseñado tanto el motor como la máquina a la cual está asociado.

La clasificación convencional de los motores se suele basar en el tipo de corriente y el diseño. De acuerdo con el tipo de corriente son conocidos los motores de corriente continua (CC), los de corriente alterna (CA) y los motores universales que pueden operar tanto con corriente continua como con corriente alterna.

Dentro de los motores de corriente alterna (CA), se encuentran clasificados los motores síncronos en los cuales la velocidad de rotación del rotor es igual a la frecuencia de la corriente alterna que lo alimenta. También se encuentran los motores asíncronos o de inducción en los cuales el rotor no gira a la misma velocidad que el campo magnético del estator. Estos últimos se subdividen en motores monofásicos que utilizan una sola fase de corriente alterna, motores bifásicos y motores trifásicos.

Comúnmente, en los motores síncronos el funcionamiento se basa en la interacción de un campo magnético giratorio generado en el estator y un campo magnético fijo generado en el rotor. Cuando el motor está en funcionamiento, el rotor se sincroniza con el campo magnético giratorio del estator, girando a la misma velocidad.

Los motores síncronos de imanes permanentes son motores que incorporan imanes permanentes en el rotor para generar un campo magnético que interactúa con el devanado del estator para producir rotación mecánica. El rotor de estos motores genera un campo magnético fijo y con alta fuerza magnética. Giran sincronizados con la frecuencia de alimentación, a cualquier par hasta el máximo del motor. Están permanentemente excitados y por ello responden muy bien a las variaciones de carga.

Otra clasificación de interés está basada en las características del *“air gap”*, *“gap de aire”* o espacio de aire de los motores eléctricos, de la siguiente manera:

- motores con gap de aire uniforme, en los que el gap de aire entre el rotor y el estator es constante en toda la circunferencia, lo cual asegura un campo magnético uniforme y una operación suave. Son comunes en motores de inducción y motores síncronos.

- motores con gap de aire variable, en donde el gap de aire varía a lo largo de la circunferencia del motor. Este diseño puede mejorar ciertas características de rendimiento como el par motor y la eficiencia. Utilizado en aplicaciones específicas donde se requiere un control preciso del campo magnético.

- motores con gap de aire axial, en donde el gap de aire está dispuesto axialmente en lugar de radialmente. Este diseño es menos común, pero puede ofrecer ventajas en ciertas aplicaciones, como en motores de disco.

- motores con gap de aire radial, donde el gap de aire está dispuesto radialmente entre el rotor y el estator. Es típico en la mayoría de los motores eléctricos convencionales.

Ya en el aspecto particular del diseño y construcción de los motores eléctricos síncronos, estos se fabrican desde hace mucho tiempo empleando dos materiales metálicos básicos

preferidos que son el cobre y el hierro (acero eléctrico), los cuales conforman el sistema electromagnético. El resto de los materiales necesarios para el soporte de los dos anteriores, son no ferromagnéticos para evitar la alteración del funcionamiento del motor. Por lo tanto, se emplean aleaciones de metales no magnéticos o materiales sintéticos lo suficientemente resistentes como para cumplir con las especificaciones del producto final.

Ahora bien, es importante mencionar que los primeros motores eléctricos presentaban un flujo radial debido a que todo motor tiene un eje sobre el cual gira, entonces, el flujo del campo magnético de estos motores era radial. Ya a partir de la década de los años noventa del siglo XX, se empezó a considerar la tecnología con motores eléctricos de flujo axial que implicó una topología diferente. Estos tienen ventajas por ser máquinas de menores dimensiones, menor peso, mejor eficiencia y mejor rendimiento. Sin embargo, por la presencia de partes elaboradas en hierro, que es por donde circula el campo magnético, siguen subsistiendo una serie de problemas.

Por ejemplo, cuando los polos y las ranuras están muy separados se necesita demasiado hierro para cumplir con los objetivos del diseño. Este es el caso que ocurre en la mayoría de los diseños de motores síncronos.

Convencionalmente, la distribución de las bobinas posee ciertas distancias, a veces de 90° y a veces de hasta 120° , lo cual provoca que la trayectoria del campo magnético por el hierro sea bastante larga. Así las cosas, para disminuir el problema de la reluctancia, los fabricantes se ven obligados a construir los motores con un volumen considerable y esto hace que sigan presentándose los mismos problemas que posee el motor radial.

Cada vez es más común la fabricación de motores eléctricos con bobinado concentrado o con dientes enrollados, que sustituye a los bobinados distribuidos más tradicionales. Los bobinados distribuidos están formados por bobinas amplias que abarcan una porción relativamente grande y conectan conductores dispuestos en ranuras distantes. Por el contrario, en los bobinados concentrados cada bobina se encuentra enrollada alrededor de cada diente en el núcleo magnético del estator (el número de dientes es igual al número de ranuras). Entonces, si como ejemplo el estator tiene veinticuatro ranuras, entonces debe tener también veinticuatro pequeñas bobinas, lo cual claramente eleva los costos de fabricación.

Así las cosas, se observa que los motores eléctricos convencionales suelen ser pesados y voluminosos, dando como resultado una muy baja densidad de potencia de la máquina. Y en esto, el mayor responsable de este problema sigue siendo la presencia de hierro

que debe contener el campo magnético. Desafortunadamente, una densidad de potencia baja resulta en un motor poco eficiente y de bajo desempeño.

El control de velocidad de motores ha evolucionado desde métodos mecánicos simples hasta sofisticados sistemas electrónicos. Los primeros intentos de controlar la velocidad de los motores se centraron en los motores de Corriente Continua (CC). El método más primitivo consistía en utilizar resistencias variables (reóstatos) en serie con el inducido o el campo del motor. Al variar la resistencia, se modificaba la corriente y, por ende, la velocidad. Este método era sencillo pero ineficiente, ya que se disipaba mucha energía en la resistencia en forma de calor. Otra técnica inicial consistía en controlar la intensidad del campo magnético del motor. Al debilitar el campo, la velocidad aumentaba, y al fortalecerlo, disminuía. Este método era más eficiente que el control por resistencia, pero tenía limitaciones en el rango de velocidad que se podía alcanzar.

El Sistema Ward-Leonard desarrollado a finales del siglo XIX y principios del XX, utilizaba un generador de CC accionado por un motor primario (motor diésel o motor de CA) para alimentar el motor que se deseaba controlar. Al variar la excitación del generador, se controlaba el voltaje aplicado al motor, logrando un control de velocidad preciso y en un amplio rango. El sistema Ward-Leonard fue ampliamente utilizado en aplicaciones industriales que requerían un control preciso, como ascensores, grúas y laminadores. Sin embargo, era costoso y voluminoso debido a la necesidad de dos máquinas rotatorias.

La invención de los rectificadores de mercurio y, posteriormente, de los tiristores (SCR) en la primera mitad del siglo XX revolucionó el control de motores. Estos dispositivos permitieron controlar la potencia eléctrica de forma mucho más eficiente y rápida que los métodos mecánicos. Los tiristores permitieron el desarrollo de convertidores CA-CC (rectificadores controlados) para alimentar motores CC con un control de velocidad más preciso. Los *choppers*, o convertidores CC-CC, permitieron controlar la velocidad de motores CC alimentados por fuentes de CC (baterías o rectificadores) mediante la conmutación rápida de la corriente. La modulación por ancho de pulsos (PWM) se convirtió en la técnica dominante para controlar la velocidad en este tipo de convertidores.

El desarrollo de transistores de potencia de alta capacidad (BJT, MOSFET e IGBT) en las últimas décadas del siglo XX impulsó el desarrollo de los variadores de frecuencia (VFD) o convertidores CA-CA. Los VFD permiten controlar la velocidad de los motores de Corriente Alterna (CA), especialmente los motores de inducción trifásicos, que son los más utilizados en la industria. Los VFD funcionan variando la frecuencia y el voltaje de la alimentación del motor, lo que permite un control preciso de la velocidad y el par. Las

técnicas de control vectorial y DTC han mejorado aún más el rendimiento de los VFD, permitiendo un control dinámico muy preciso y un alto par a bajas velocidades. El avance de los microcontroladores y los procesadores de señal digital (DSPs) ha permitido implementar algoritmos de control complejos en los VFD, mejorando su eficiencia y rendimiento.

El control de velocidad de motores ha pasado de métodos mecánicos ineficientes a sofisticados sistemas electrónicos que ofrecen un control preciso, eficiente y dinámico. La electrónica de potencia y el desarrollo de microcontroladores han sido factores clave en esta evolución. Las tendencias actuales se enfocan en la eficiencia energética, el control inteligente, la conectividad y los costos asociados de desarrollo de los circuitos y sistemas electrónicos o electromecánicos.

Por todo lo anterior, es notable que persiste la necesidad de contar con un motor eléctrico liviano y de dimensiones mucho menores que los convencionales, con la posibilidad del control de velocidad y giro eficientes. Esta circunstancia motivó la investigación y el desarrollo exitoso de la presente invención la cual resulta ser exponencialmente más liviana y delgada presentando una solución inesperada, revolucionaria y eficiente a los problemas discutidos.

OBJETO DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es proporcionar un sistema conformado por los subsistemas electromecánicos: un motor síncrono y un sistema de control electromecánico de velocidad y dirección de giro.

Otro objeto de la invención consiste en proporcionar un motor eléctrico síncrono con una configuración particular y sin partes elaboradas en hierro, para lograr ser ultradelgado y ultraliviano consiguiendo una mayor densidad de potencia, eficiencia y rendimiento.

Otro objeto de la invención es proporcionar un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes que esté fabricado en su mayor parte con materiales cerámicos livianos de alta resistencia.

Otro objeto de la invención es proporcionar un motor eléctrico que pueda operar en modo monofásico mediante conexión de las bobinas en serie o paralelo, o en modo bifásico mediante las conexiones adecuadas de cada fase, sin alterar o modificar sus características físicas; es decir, lograr alimentar y funcionar con una o dos fases sin adaptar, añadir ni retirar elementos diferentes a los de su funcionamiento normal.

Aún otro objeto es que el motor se interconecte de manera opcional con otro circuito electromecánico conformado por elementos activos y/o pasivos para realizar el control de la velocidad y dirección de giro.

Otro objeto de la invención es proporcionar un motor eléctrico de flujo radial pero físicamente semejante a un motor de flujo axial incorporando todas las ventajas de ambos.

Otro objeto de la invención es proporcionar un motor eléctrico síncrono de muy fácil y rápida fabricación con costos de producción notablemente reducidos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La presente invención se entenderá de mejor manera con referencia a las figuras que acompañan este documento, se ilustra a modo de ejemplo una realización de la presente invención, pero sin limitar el alcance de la invención. En dichas Figuras, los códigos de referencia indican elementos idénticos o similares.

La figura 1 presenta un diagrama con la vista de sección transversal de una modalidad preferida de la invención en donde el estator es el elemento esencial externo y el rotor es el elemento esencial interno. En esta modalidad, el estator presenta superficies principales circulares. También incluye la parte mecánica del subsistema de control de velocidad y dirección de giro.

La figura 2 presenta la vista frontal del rotor interno que forma parte de la invención.

La figura 3 presenta una vista en perspectiva aérea del rotor de la figura 2.

La figura 4 presenta un diagrama con vista frontal del cuerpo principal del estator externo cuando este posee superficies principales de borde externo cuadrado. En este diagrama se aprecia la configuración interior de la arandela asociada al borde interno del cuerpo, la cual presenta detalles de la forma de las ranuras.

La figura 5 presenta una vista frontal del cuerpo principal del estator externo cuando este posee superficies principales de borde externo cuadrado. En este diagrama se aprecian los núcleos ya colocados en las zonas de las ranuras pertenecientes a la arandela interior.

La figura 5A presenta un detalle representativo de la forma geométrica de los núcleos del estator y la identificación numérica de las ranuras que pertenecen a estos por donde se insertan segmentos de las bobinas.

La figura 6 presenta diagramas con vista en perspectiva aérea de las configuraciones preferidas de las dos bobinas que forman parte del motor de la invención.

La figura 7 presenta una vista en perspectiva aérea del estator externo con detalles de la configuración de una de las bobinas ya insertada en las ranuras de la arandela interior y de los núcleos.

La figura 8 presenta una vista en perspectiva aérea del estator externo con detalles de la configuración del conjunto de dos bobinas ya insertadas completamente.

Las figuras 9 y 10 presentan diagramas explicativos con identificación de variables y ecuaciones pertenecientes a la definición de grupos básicos, los cuales son parte esencial del diseño del motor que forma parte de la invención.

La figura 11 presenta un diagrama de una segunda modalidad preferida de la invención en donde se encuentra cambiada la disposición y configuración del rotor y del estator, al estar el rotor como elemento esencial externo y el estator como elemento esencial interno en el motor que forma parte de la invención.

La figura 12 presenta un diagrama de bloques circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro, que forma parte de una modalidad preferida de la invención.

La figura 13 presenta una aplicación práctica y detallada de los componentes electrónicos del circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro.

LISTADO DE ELEMENTOS DEL INVENTO

El siguiente listado corresponde al conjunto de elementos que hacen parte de la presente invención. Al frente de cada elemento se indica el código de referencia incluido en el juego de figuras para su fácil identificación.

Motor eléctrico síncrono	1000
--------------------------	------

Rotor	100
Cuerpo principal	110
Superficies principales	111
Pared lateral	112
Eje axial	120
Aro ferromagnético	130
Imanes	140
 Estator	 200
Cuerpo principal	210
Superficie superior	211
Superficie inferior	212
Espesor	213
Espacio interior	220
Margen interior	230
Arandela interior	240
Ranuras de arandela interior	241A, 241B
Núcleos	250
Ranuras de núcleos	251A, 251B
Porción principal del núcleo	252
Porciones salientes del núcleo	253
 Bobinas	 260A, 260B
Hilo metálico	261
Dobleces	262
Cintas de sujeción	263
 Gap de aire	 300
 Sección mecánica del control electromecánico de velocidad y dirección de giro	 400
Palanca móvil	410
Ranura de desplazamiento	420

Circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro	500
Circuito acondicionador de señal	510
Amplificador operacional 1	OA1
Amplificador operacional 2	OA2
Puente H con circuito de limitación de corriente	520
Circuito sensor de efecto Hall	530

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La invención corresponde a un sistema de generación de energía mecánica mediante motor eléctrico, en donde el bobinado del motor posee una configuración y disposición especial. El sistema está compuesto por un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes, y un circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro.

Al motor eléctrico (1000) se adaptan las siguientes partes mecánicas: la palanca móvil (410); y la ranura de desplazamiento (420). El circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500) en sus partes electrónicas incorpora: el circuito sensor de efecto hall (530), que a su vez se interconecta con la sección electrónica que incluye el circuito acondicionador de señal (510), y este último con el Puente H con circuito de limitación de corriente (520), en una configuración determinada y específica como se muestra en la figura 12.

La invención es ultraliviana y ultradelgada, debido a que está elaborada en materiales compuestos preferiblemente cerámicos o poliméricos, y debido a la carencia total de hierro en su fabricación, pero cuyo flujo del campo magnético ocurre a través de núcleos de ferrita.

El diseño de esta invención se inspiró en los motores axiales. Posee apariencia de un motor axial, pero es un motor radial. Combina las ventajas tanto del motor axial (poco volumen y poco cobre en las bobinas) como del motor radial, con las que ofrece poder controlar variables como la velocidad, por medio de un subsistema que incluye partes mecánicas y partes electrónicas que operan asociadas.

DIVULGACIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

Esta divulgación corresponde a la explicación detallada de algunas de las modalidades de la invención y no implica la limitación del alcance de la invención definida en las reivindicaciones.

Para una comprensión más completa de la presente invención, ahora se hace referencia a la siguiente descripción de un modo ilustrativo y no limitativo de la misma, tomada en conjunto con las figuras acompañantes en las cuales los códigos de referencia asignados a cada parte indican elementos idénticos o semejantes en las figuras correspondientes.

Para propósitos de la comprensión de la invención, ahora se considera la definición de varios términos importantes:

La expresión “*materiales compuestos*” hace referencia a los que se producen combinando dos o más materiales diferentes, cada uno con sus respectivas propiedades, para formar un nuevo material con características superiores a los de los componentes individuales. Estos componentes pueden ser seleccionados de polímeros, cerámicos, fibras naturales o sintéticas, entre otros. Tienen características mejoradas de resistencia mecánica, a saber, alta resistencia a la tensión, compresión y flexión. Presentan baja densidad y alta relación resistencia-peso. Son durables y resistentes a la corrosión. Algunos poseen propiedades aislantes eléctricas y térmicas. Son resistentes a impactos y vibraciones pues son capaces de absorber energía y resistir esfuerzos dinámicos.

La expresión “*air gap*” que se conoce en español como “*gap de aire*”, “*espacio de aire*” o también “*entrehierro*” consiste en el espacio físico definido entre el rotor y el estator. Cumple funciones cruciales como permitir el movimiento del rotor porque proporciona el espacio necesario para que el rotor pueda girar libremente dentro del estator sin contacto físico y así se evite el desgaste y la fricción. También permite controlar el campo magnético pues el tamaño del gap de aire afecta la intensidad del campo magnético que se genera entre el rotor y el estator. Un gap de aire pequeño aumenta la densidad del flujo magnético mejorando la eficiencia del motor, y un gap de aire más grande puede reducir la eficiencia. El gap de aire también influye en el par motor y en la estabilidad y reducción de ruido y vibraciones durante la operación de la máquina.

El término “*densidad de potencia*” se refiere a la cantidad de potencia que un motor puede generar por unidad de volumen o masa. Es una medida clave para evaluar la eficiencia y el rendimiento de un motor, especialmente en aplicaciones donde el espacio y el peso son limitados. Una mayor densidad de potencia significa que el motor puede generar más potencia en un espacio más pequeño o con un peso menor, lo cual es crucial en aplicaciones livianas. También permite diseños más compactos y ligeros reduciendo el consumo de materiales y mejorando la maniobrabilidad. Esto es

especialmente importante en aplicaciones de la industria aeroespacial y en dispositivos portátiles donde las magnitudes de espacio y peso son críticos.

El término “*reluctancia magnética*” se define como a la resistencia u oposición que presenta un medio al paso del flujo magnético.

El término “*circuito de control*” corresponde lo que en electrónica se refiere a un sistema diseñado para gestionar el comportamiento de otro sistema o dispositivo. Su función principal es recibir señales de entrada, procesarlas según un conjunto de reglas predefinidas y generar las señales de salida necesarias para realizar una acción específica. Estos circuitos pueden ser simples o complejos, y varían de acuerdo con su configuración y uso. Algunos ejemplos de circuitos de control pueden ser: un interruptor simple, o un sofisticado controlador de temperatura en un horno. Los circuitos de control pueden incorporar una variedad de dispositivos eléctricos, mecánicos y electromecánicos.

El término “*grupo básico*” en el contexto de diseño del motor que forma parte de la invención, define la porción estructural bidimensional de la sección transversal del motor eléctrico, conformado por dos núcleos de ferrita contiguos (250) emulando una E curvada y que cada uno posee una ranura (251A y 251B) para alojar la correspondiente bobina y que abarca desde el inicio del primer núcleo hasta el comienzo del primer núcleo del siguiente grupo básico, medido en sentido de las manecillas del reloj, y que abarca radialmente hacia adentro del motor a partir del margen interior (230) hasta el borde de la arandela interior.

En la figura 1, se observa una modalidad preferida del motor eléctrico síncrono (1000) ultradelgado y ultraliviano con control automático electromecánico de velocidad y dirección de giro. Este motor eléctrico síncrono (1000) está conformado por un rotor (100), un estator (200), el gap de aire (300), y la sección mecánica del circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (400).

A continuación, se realiza una descripción detallada de la invención ampliando la definición y explicación de las características estructurales de cada una de las partes esenciales que lo conforman y su interrelación entre ellas:

Rotor

De acuerdo con las figuras 1 a 3 y 11, el rotor (100) es el componente que gira en el motor (1000) alrededor de un eje axial (120).

Según las figuras 1 a 3, el rotor (100) es interno y tiene un cuerpo principal (110) cilíndrico delgado conformado por superficies principales (111, 111') y una pared lateral (112). Dicha pared lateral (112) corresponde al espesor del rotor (100) y presenta unas dimensiones mucho menores en comparación con la magnitud del área superficial de las superficies principales (111, 111'). El cuerpo principal (110) está construido de un material compuesto.

El rotor (100) también posee un eje axial (120) y sobre toda el área superficial de la pared lateral (112) posee adherido un aro ferromagnético (130). El aro ferromagnético (130) ("back yoke") se designa de esa manera por ser un aro elaborado en material ferromagnético para completar la trayectoria de flujo del campo magnético.

En el caso del aro (130) es obligatorio que sea de un material ferromagnético como por ejemplo ferrita, níquel o similares, con el mínimo posible de espesor para que no afecte la circulación del campo magnético.

Sobre y a lo largo de todo el aro ferromagnético (130) se encuentran dispuestos imanes (140) permanentes distribuidos consecutivos y espaciados.

En una modalidad preferida de la invención, el número de imanes (140) es tres veces el número de grupos básicos (G).

Estator

De acuerdo con las figuras 1, 4, 5, 7, 8 y 11, el estator (200) es el componente fijo o estático instalado en una estructura externa -por ejemplo, en una máquina o aparato-.

En una modalidad preferida de la invención, el estator (200) es externo conformando la periferia del motor (1000) y tiene un cuerpo principal (210) delgado en donde la superficie superior (211) y la superficie inferior (212) son cuadriláteras con un espesor (213) pequeño. Las superficies antedichas presentan un hueco o espacio interior (220) central que está dimensionado para el ensamble del rotor (100) y dejar un gap de aire (300).

La geometría particular de esta primera modalidad no es la única, sino que puede presentar cualquier otra forma cuadrilátera externa o también circular externa.

En las figuras 4, 5, 7 y 8, se pueden observar detalles de las partes esenciales del estator (200) en vista frontal de este. Por ejemplo, con respecto a la construcción del cuerpo principal (210), en la modalidad preferida de la invención se observa una superficie

superior (211), una superficie inferior (212), el espacio interior (220) que es esencialmente circular, un espesor (213), la presencia de un margen interior (230) del cuerpo principal (210), y una arandela interior (240) que está asociada a todo el margen interior (230). Dicha arandela interior (240) presenta unas ranuras (241A, 241B) preferiblemente de forma cuadrada abierta en uno de sus lados y distribuidas de a pares a lo largo de toda dicha arandela interior (240).

La arandela interior (240) permite la colocación de los núcleos (250), los cuales son elementos tridimensionales sólidos que presentan una superficie principal con forma de “E” preferiblemente curvada.

La forma de “E” preferiblemente curvada de cada núcleo (250) consiste en la presencia de una porción principal (252) y tres porciones salientes (253) rectas y separadas estas últimas entre sí por la presencia de dos ranuras de núcleos (251A, 251B) (ver fig. 5A) estas últimas coincidentes en forma y disposición con respecto a las ranuras (241A, 241B) de la arandela interior (240) (ver figs. 4 y 5).

En una modalidad todavía más deseable de la invención, los núcleos (250) son núcleos tridimensionales de ferrita con superficie principal con forma de “E” curvada.

Como se puede apreciar en la figura 5, el estator (200) externo posee ocho grupos básicos (G) espaciados simétricamente alrededor de la superficie interior, pero no es una limitante.

Los núcleos (250) presentan dimensiones pequeñas no tan notables por ser de ferrita y porque la trayectoria del campo magnético es extremadamente corta. Así, se logra la ausencia de pérdidas en cada núcleo (250) y ausencia de problemas de reluctancia magnética.

El estator (200) posee agujeros para tornillos de fijación (no ilustrado).

Bobinas

La configuración de las bobinas (260A, 260B) que forman parte del motor (1000) de la invención es muy especial. Cada bobina está conformada por un hilo metálico (261) devanado hasta lograr un elemento que desde la vista superior es circular cerrado.

El número de vueltas del devanado también es un factor importante porque en una bobina ideal se esperaría una construcción con muchas vueltas y mucha corriente, pero en la práctica no es posible. Si se busca una magnitud alta en torque, se requiere un devanado con múltiples vueltas, pero se reduce la eficiencia final del motor por lo que, si se desea mejorar la eficiencia, se debe reducir el número de vueltas para disminuir las pérdidas en el metal del hilo. Una bobina de una sola vuelta generaría una eficiencia máxima pero la magnitud de la corriente es demasiado elevada.

Cada bobina (260A, 260B) del motor (1000) presenta puntos en los cuales se identifican unos dobleces (262) perpendiculares ($\alpha=90^\circ$) al círculo de la bobina, lo cual hace sobresalir en disposición unos segmentos de la bobina sobre otros.

En términos más específicos, el devanado presenta cada doblez (262) hecho en un ángulo $\alpha=90^\circ$ con una tolerancia de $\pm 10\%$ (ver fig. 6), lo cual resulta en la configuración elevada de unos segmentos de la bobina para lograr bobinas (260A, 260B) que lucen geométricamente semejantes a la forma de una onda cuadrada.

La construcción de los dobleces (262) se inicia realizando un doblez mecánico en ángulo α en un sentido, por ejemplo, de las manecillas del reloj, y el siguiente doblez en ángulo α en sentido contrario, es decir, en contra de las manecillas del reloj. Así sucesivamente hasta terminar todo el círculo de cada bobina (260A, 260B).

Para mantener la integridad del devanado además de preservar la configuración y disposición de este, cada una de las bobinas (260A, 260B) posee cintas de sujeción (263) adheridas alrededor del devanado en algunos segmentos del perímetro de dichas bobinas (ver figs. 6 a 8).

Es de anotar que los dobleces en las bobinas (260A, 260B) del motor (1000) son los que convierten el invento en un motor eléctrico radial, aunque tenga una apariencia de motor axial.

En este punto vale la pena señalar que todas las bobinas convencionales son perfectamente circulares. En los motores radiales, el diámetro de la bobina es muy pequeño, pero es un arrollamiento que no tiene dobleces. En los motores axiales, se presentan una o dos bobinas grandes, pero perfectamente circulares y sin dobleces de ningún tipo.

En la figura 7 se puede apreciar la disposición de la bobina (260B) en el estator (200). En la fabricación del motor (1000) esta es la bobina que se coloca primero. La bobina (260B) está insertada en el conjunto de ranuras siguiente: las ranuras (241B) de la

arandela interior (240) en disposición espacial coincidente con las ranuras (251B) de los núcleos (250). Así, las partes de la bobina (260B) que posee cintas de sujeción (263) quedan en contacto físico directo con cada núcleo (250).

En la figura 8 se aprecia la disposición final ya con la bobina (260A) insertada en el estator (200). En la fabricación del motor (1000) esta es la bobina que se coloca en segundo lugar. La bobina (260A) está insertada en el conjunto de ranuras siguiente: las ranuras (241A) de la arandela interior (240) en disposición espacial coincidente con las ranuras (251A) de los núcleos (250). Del mismo modo que en la bobina (260B), las partes de la bobina (260A) que poseen cintas de sujeción (263) quedan en contacto físico directo con cada núcleo (250). Las cintas de sujeción (263) cumplen con la función adicional de proteger la integridad del devanado al roce o posible rayado en contacto con los núcleos (250).

Al analizar la figura 8, cuando las bobinas (260A, 260B) están completamente ensambladas, se aprecia que cubren toda la arandela interior (240) por ambas superficies principales de esta, de modo que tanto en un lado como en el otro del rotor (200) se aprecian segmentos intercalados de tales bobinas (260A, 260B). Cada motor (1000) necesita únicamente dos bobinas lo cual impacta positivamente en factores como el peso, el espesor del motor y la densidad de potencia.

Es importante tener en cuenta que la corriente en la bobina (260A), que circula por la ranura (241A) y (251A), debe ser contraria a la que circula por la bobina (260B). Para esto se debe marcar el extremo de la bobina por donde entra la corriente, para hacer los dobleces a 90° correctamente.

Grupos básicos

Tal como se había mencionado anteriormente, el grupo básico (*G*) en el contexto de diseño del motor que forma parte de la invención, define la porción estructural bidimensional en la sección transversal del motor eléctrico, que abarca desde el inicio de un núcleo hasta el comienzo del siguiente núcleo en sentido de las manecillas del reloj, y que abarca radialmente hacia adentro del motor a partir del margen interior (230), hasta el borde interno de la arandela interior (240), sin sobrepasar el círculo imaginario “a”.

En una modalidad preferida de la invención, un grupo básico puede estar formado por un núcleo (250) y tres imanes (140) dispuestos consecutivos.

En las figuras 9 y 10 se aprecian unos diagramas explicativos que se complementan entre sí y son esenciales para el diseño y la construcción del motor (1000). En tales

diagramas se realiza una definición gráfica de lo que son los grupos básicos (G) mediante identificar ciertas medidas a través de puntos y distancias designados con las siguientes letras en cursiva:

a , círculo imaginario de referencia trazado en línea punteada en el gap de aire (300);

b , línea radial imaginaria inicial, trazada en línea punteada, que atraviesa longitudinalmente la primera porción saliente (253) del primer núcleo (250) de un grupo básico (G);

b' y b'' , líneas radiales imaginarias, trazadas con línea punteada, que atraviesan transversalmente la porción principal (252) del núcleo (250) y cada una pasa por cada ranura de arandela (241A, 241B);

b''' , línea radial imaginaria final que atraviesa longitudinalmente la primera porción saliente (253) del siguiente núcleo (250) en sentido de las manecillas del reloj; dicha línea radial trazada punteada;

k , línea radial imaginaria que atraviesa el centro de un imán (140);

k' , línea radial imaginaria que atraviesa el centro de otro imán (140) que está consecutivo al anterior en sentido de las manecillas del reloj;

y , punto ubicado en el círculo imaginario de referencia (a) que coincide con el punto de cruce de la línea radial imaginaria b ;

y' , punto ubicado en el círculo imaginario de referencia (a) que coincide con el punto de cruce de la línea radial imaginaria b''' ;

c , punto ubicado en el círculo imaginario de referencia (a) que coincide con el punto de cruce de la línea radial imaginaria b' ;

c' punto ubicado en el círculo imaginario de referencia (a) que coincide con el punto de la línea radial imaginaria b'' ;

e , punto ubicado en el círculo imaginario de referencia (a) que coincide con el punto de cruce de la línea radial imaginaria k' ;

e' , punto ubicado en el círculo imaginario de referencia (a) que coincide con el punto de cruce de la línea radial imaginaria b''' ;

r , radio trazado entre cualquier punto del círculo imaginario de referencia (a) y el eje axial (120);

L , longitud de arco del grupo básico G . Longitud del sector circular entre y , y' ;

d , espacio entre ranuras del núcleo. Paso de las bobinas. Longitud del sector circular entre c , c' ; y

x , distancia entre imanes del rotor. Longitud del sector circular entre e , e' .

En primer lugar, se traza un único círculo imaginario de referencia (a) que pasa por la mitad del gap de aire (300) (el espacio comprendido entre el rotor (100) y el estator (200)). A partir de este círculo de referencia (a) se definen las medidas esenciales que se deben considerar para el diseño del motor (1000).

Con relación a los puntos y distancias anteriormente descritos, un grupo básico (G) se identifica como una porción estructural bidimensional en la sección transversal del motor (1000) que abarca una longitud (L) que es el perímetro del sector circular delimitada desde el punto y hasta el punto y' sobre el círculo imaginario de referencia (a) (esta longitud depende de los objetivos de diseño, como el tamaño y número de polos del motor (1000)), y que abarca radialmente hacia adentro del motor a partir de la línea b hasta la línea b''' , pasando por los puntos y , y' en el círculo imaginario de referencia (a) hasta el eje axial (120).

Luego se determina el espaciado entre las ranuras (d) basado en la variable (L) según la siguiente ecuación:

$$d = L/4$$

d :Espaciado entre ranuras de un núcleo

L :Longitud de arco de círculo total de un grupo básico G

Después de conocer d y L se determina otra variable esencial que consiste en la distancia (x) que debe haber entre los imanes (140) del rotor (100), la cual se calcula a partir del valor de (d), según la siguiente ecuación:

$$x = 4 d/3$$

x :Distancia entre imanes del rotor

d:Espaciamiento entre ranuras de un núcleo

La distancia (x) entre los imanes siempre es igual.

Estas dos ecuaciones obtenidas por el inventor son esenciales e inciden directamente en la construcción del motor (1000) y su funcionamiento.

El número de grupos básicos (G) debe ser un número par ($2n+2$), siendo n contado a partir de cero y es cualquier entero positivo sin tener un límite superior. Entre más grupos básicos (G) tenga el motor (1000) de la invención, es mejor porque se evidencia un aumento del torque.

Otra modalidad del motor

En la figura 11 se aprecia un diagrama explicativo de otra modalidad deseable del motor (1000) que forma parte de la invención, en donde se aprecia el rotor (100) ahora dispuesto externo y el estator (200) ahora dispuesto interno.

Circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro

De acuerdo con las figuras 12 y 13, el sistema del circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500) es el sistema encargado de detectar el campo electromagnético y variar la velocidad y el sentido de giro del motor (1000).

En la figura 13 se presentan los sistemas, componentes e interconexiones que hacen parte del circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro. Una aplicación detallada se muestra en la figura 12, que corresponde a la que se emplea en una modalidad de funcionamiento de la invención.

El componente más importante es un circuito electrónico puente H, que permite invertir la polaridad de la tensión aplicada al motor eléctrico síncrono (1000). Está compuesto por 4 interruptores electrónicos en una configuración que incluye dispositivos *mosfets* y diodos. Se hace una configuración en donde al dejar de fluir corriente a través de un primer par de *mosfets* imita el efecto de abrir dos interruptores, esto hace que un segundo par reciba la corriente y luego la transfiera al motor para que gire en un sentido. Para lograr el giro en sentido contrario, se deberá garantizar el flujo de corriente en el primer par de *mosfets*, y suspender el flujo de la corriente del segundo par.

El sistema del circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500) incorpora: el circuito acondicionador de señal (510), que se interconecta con el puente H

con limitación de corriente (520); y dicho circuito acondicionador de señal (510) recibe como entrada la señal enviada por el circuito sensor de efecto Hall (530). La configuración específica de este circuito se puede ver en la figura 12.

Circuito acondicionador de señal

El circuito acondicionador de señal (510) en electrónica es un sistema diseñado para preparar una señal eléctrica para que pueda ser procesada correctamente por un dispositivo o sistema posterior. Estos circuitos modifican la señal original para mejorar su calidad y adecuarla a los requisitos del siguiente proceso o dispositivo. En la figura 12, puede verse la interconexión del circuito acondicionador de señal (510) con el circuito Puente H con circuito de limitación de corriente (520), al que le entrega la señal en condiciones óptimas como entrada. En la Figura 12, se especifica este acondicionador de señal (510), donde se muestra que está definido por el amplificador operacional OA1 que filtra y amplifica la señal proveniente del circuito sensor de efecto hall (530) y produce la señal 1 con la que a su vez se alimenta al amplificador operacional OA2 y una de las entradas del puente H con limitación de corriente (520). El amplificador operacional OA2 produce la señal 2 (que es la misma señal 1 desfasada 180°) y alimenta la otra entrada del puente H con limitación de corriente (520).

Circuito sensor de efecto Hall

El circuito sensor de efecto Hall (530) es un dispositivo electrónico que utiliza el efecto Hall para detectar la presencia de un campo magnético y convertir esa información en una señal eléctrica. El efecto Hall se produce cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor o semiconductor y se somete a un campo magnético perpendicular, generando una diferencia de voltaje (tensión Hall) perpendicular tanto al campo magnético como a la corriente.

Funcionamiento del circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500)

Esta invención incorpora la posibilidad en una modalidad de adaptar al motor eléctrico un mecanismo de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500). Este mecanismo tiene como atributos principales la simplicidad, la economía y la confiabilidad, a diferencia de los controles digitales que son complejos y dependiendo del tamaño del motor es costoso y sujeto a fallas, debido a su misma complejidad.

El circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500) incorpora un circuito acondicionador de señal (510), para generar una señal en lo posible sin ruido y en condiciones óptimas, que es requerida como entrada para el funcionamiento del puente H con limitación de corriente (520). La configuración de estos circuitos permite que el motor sea controlado de manera automática. El set point de velocidad se ubica mecánicamente, posicionando el circuito sensor de efecto hall (530) capaz de detectar campos electromagnéticos. Para velocidad “0” se posiciona el sensor en el punto medio de la carrera total; para aumentar la velocidad, la palanca móvil (410) se mueve en la dirección D (CW) para un sentido de giro y en la dirección R (CCW) para el sentido contrario. La velocidad máxima se establece cuando el circuito sensor de efecto hall (530) llega al borde de cualquiera de los núcleos.

Cuando se reposiciona el circuito sensor de efecto Hall (530), y allí se coloca el *set point* de la velocidad, es decir que se cambia la carga al motor, se disminuye un poco la velocidad y vuelve a recuperarse hasta el *set point establecido*.

Otra ventaja de la invención en comparación con los motores de bobinas concentradas es que solo se usan dos bobinas grandes, independiente del número de ranuras, reduciendo notablemente los costos de producción y facilitando el ensamblaje.

El circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro incorpora un circuito sensor de efecto Hall (530) que detecta campos electromagnéticos y al hacerlo envía una señal al circuito acondicionador de señal (510) que prepara y adecúa una señal apta como entrada al puente H con limitación de corriente (520)

Normalmente, el circuito de puente H con limitación de corriente (520) funciona como conmutador de corriente proveniente de la fuente de alimentación DC para el motor. Este incorpora *mosfets* y diodos para enviar la señal requerida por el motor eléctrico síncrono (1000) para su funcionamiento.

Como todo controlador automático, la señal de salida debe realimentarse a la entrada; y en este caso la realimentación es totalmente mecánica; no hay realimentación ni eléctrica ni electrónica.

El circuito sensor de efecto Hall (530) se encuentra físicamente en el espacio libre que hay entre dos “*grupos básicos*”. Al ubicarse en el punto medio, el motor se detiene. Cuando se desplaza hacia uno de los “*grupos básicos*”, el motor comienza a girar en un sentido y acelera según la distancia recorrida hasta alcanzar un máximo cuando el sensor toca el núcleo de ferrita.

Si el circuito sensor de efecto Hall (530) se mueve desde el centro hacia el otro “*grupo básico*” el motor gira en sentido contrario y acelera de igual forma.

El circuito sensor de efecto Hall (530) genera las señales necesarias que luego de ser adaptadas y acondicionadas por el circuito acondicionador de señal (510) controlan al puente H con limitación de corriente (520). Al efectuar un movimiento del circuito sensor de efecto Hall (530) empieza a variar la velocidad. Coloca el motor síncrono (1000) en una velocidad determinada, al ponerle una carga suficiente que lo detenga y se libere inmediatamente, trata de detenerse, pero recupera la velocidad inicial con mucha precisión. Es un sistema de control automático, gracias a que la realimentación es mecánica.

Funcionamiento del motor

El motor eléctrico síncrono (1000), puede tener un modo de funcionamiento monofásico, es decir que funciona con una sola fase. En el estado del arte lo hacen, pero tienen que aplicarle bobinas adicionales, es decir modificar la estructura física del motor. En el caso de la presente invención una gran ventaja es que sin ninguna modificación puede operar en este modo y en modo bifásico incluso.

Cuando es monofásico, trabaja mediante una sola señal de onda senoidal o cuadrada.

En otra modalidad, se puede hacer una configuración del motor eléctrico síncrono (1000) para que emplee dos fases, con dos señales senoidales o cuadradas, una de las ondas desfasada noventa grados.

En otra modalidad, funciona como *stepper* motor, utilizando un driver de stepper motor.

En las modalidades monofásico, difásico y *stepper* no hay necesidad de agregar condensador y ni bobinas, ni realizar ninguna modificación física.

Efectos técnicos

El motor eléctrico síncrono (1000) es una solución técnica con múltiples ventajas y efectos técnicos inesperados y sorprendentes como son los siguientes:

-Ultraliviano. Este logro es muy importante para aplicaciones de movilidad.

-Ultradelgado. Este logro es muy importante en robótica, máquinas industriales y miniaturización.

-Fácil manufactura. Se pueden usar máquinas eléctricas para el hogar o en pequeños talleres.

-Es el primer motor que no tiene hierro en sus componentes, como sí lo hacen los tradicionales.

-Bajas pérdidas en el núcleo por la naturaleza química de estos.

-Bajas pérdidas I^2R por la notable reducción de la presencia de cobre en cada motor.

-Permite configurarlo de maneras en las que puede lograr efectos diferentes en el funcionamiento sin modificaciones físicas o agregar algún componente adicional, como sí sucede en motores convencionales.

-Se logra obtener menos ruido.

-El cuerpo del motor puede estar elaborado en materiales compuestos o biodegradables.

-Se pueden apilar múltiples motores axialmente en stack para lograr altas potencias.

-No requiere mecanismos adicionales para refrigeración. Las bobinas de cobre son de fácil refrigeración, por lo cual el aire que circula por el motor es suficiente.

-Bajo costo de fabricación y del producto final en todos los componentes mecánicos y electrónicos.

-Buen torque y buena eficiencia.

-De acuerdo con un simulador de campos magnéticos, el invento logra una eficiencia de las fuerzas de casi el 100%. Al usar simulación de campos magnéticos para evaluar las fuerzas, se logra utilizar al máximo el campo magnético producido por la bobina y el campo magnético utilizado por los imanes. Los acopla al máximo.

-Funcionamiento monofásico y bifásico sin modificación de las características físicas del motor.

- La realimentación del control de velocidad y dirección de giro es totalmente mecánica; no hay realimentación ni eléctrica ni electrónica.

Fabricación

Respecto a la fabricación del motor eléctrico síncrono (1000), los materiales empleados son materiales compuestos para su parte estructural, ferrita para los núcleos del estator, materiales conductores eléctricos para los bobinados. Es de resaltar que la invención es el primer motor que no tiene hierro en sus componentes como sí lo tienen los motores tradicionales.

Una persona normalmente versada en la materia dentro del campo técnico correspondiente puede realizar una fabricación adecuada a partir de los conocimientos fundamentales que posee y el contenido descrito en el presente documento.

* * * * *

RESUMEN

La invención corresponde a un sistema de generación de energía mecánica mediante motor eléctrico síncrono de imanes permanentes compuesto por un rotor, un estator y un circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro automático, en donde el bobinado posee una configuración y disposición particular. La invención es ultraliviana y ultradelgada debido a estar elaborada en materiales compuestos preferiblemente cerámicos o poliméricos y debido a la carencia total de hierro en su fabricación, pero cuyo flujo del campo magnético ocurre a través de núcleos de ferrita. El diseño del motor permite configuraciones en donde puede trabajar de manera monofásica, bifásica o como *stepper*, sin realizar alguna modificación física o agregar algún componente, solo se requiere reordenar la conexión de las dos bobinas.

* * * * *

REIVINDICACIONES

1. Un motor eléctrico síncrono (1000), **que comprende:**

un rotor (100) y un estator (200) con un gap de aire (300) entre dicho rotor (100) y dicho estator (200); el estator (200) posee insertadas dos bobinas (260A, 260B) cada una con apariencia de vista superior circular cerrada y una apariencia lateral de onda cuadrada por la presencia de unos dobleces (262);

una sección mecánica del subsistema de control de velocidad y dirección de giro (400); y

un circuito de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500) conformado por:

un circuito acondicionador de señal (510) que recibe como entrada la señal de salida de un circuito sensor de efecto Hall (530); y

un puente H con circuito de limitación de corriente (520) que recibe como entrada las señales de salida del circuito acondicionador de señal (510); y

el circuito acondicionador de señal (510) conformado por dos amplificadores operacionales:

el amplificador operacional OA1 que se interconecta con tres resistencias operando en configuración Schmitt Trigger; y

el amplificador operacional OA2 que opera como inversor de la señal que recibe del amplificador operacional OA1; y

el puente H con circuito de limitación de corriente (520) conformado por cuatro *mosfets* que actúan como interruptores que se activan en pares cruzados, y cada uno está interconectado: al motor eléctrico síncrono (1000); y a un diodo de protección que proporciona un camino para que circule la corriente inducida por la inductancia, protegiéndolo del voltaje inverso cuando se desactiva el funcionamiento de cada *mosfet*.

2. El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el rotor (100) presenta: -un cuerpo principal (110) cilíndrico conformado por superficies principales (111, 111') y una pared lateral (112) como espesor de dicho rotor (100); -un eje axial (120); - sobre toda el área superficial de dicha pared lateral

(112) posee un aro ferromagnético (130); -sobre y a lo largo de todo dicho aro ferromagnético (130) se encuentran dispuestos imanes (140) distribuidos consecutivos y espaciados.

- 3.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el estator (200) presenta: -un cuerpo principal (210) con una superficie superior (211), una superficie inferior (212) y un espesor (213); con dicha superficie superior (211) y dicha superficie inferior (212) cuadriláteras o circulares con un hueco o espacio interior (220) central dimensionado para el ensamble del rotor (100) y espacio circundante para la presencia del gap de aire (300); -un margen interior (230) con una arandela interior (240) que presenta ranuras (241A, 241B) abiertas en uno de sus lados y distribuidas de a pares a lo largo de toda dicha arandela interior (240).
- 4.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 3, en donde las arandelas interiores (240) alojan núcleos (250) de ferrita con superficie principal con forma de "E" curvada que presenta una porción principal (252) y tres porciones salientes (253) rectas y separadas estas últimas entre sí por la presencia de dos ranuras de núcleos (251A, 251B) coincidentes en forma y disposición con respecto a las ranuras (241A, 241B) de la arandela interior (240).
- 5.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 4, en donde todos los núcleos (250) del estator (200) están en contacto estrecho con las bobinas (260A, 260B) cada una conformada por un hilo (261) metálico devanado con cintas de sujeción (263) adheridas alrededor de este en algunos segmentos del perímetro de dichas bobinas (260A, 260B).
- 6.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 5, en donde las bobinas (260A, 260B) presentan los dobleces (262) en ángulo $\alpha=90^{\circ}\pm 10\%$.
- 7.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con las reivindicaciones 5 y 6, en donde la bobina (260B) está insertada en el conjunto de ranuras (241B) de la arandela interior (240) en disposición espacial coincidente con las ranuras (251B) de los núcleos (250); y la bobina (260A) está insertada en el conjunto de ranuras (241A) de la arandela interior (240) en disposición espacial coincidente con las ranuras (251A) de los núcleos (250); las partes de las bobinas (260B, 260A) que poseen cintas de sujeción (263) quedan en contacto físico directo con cada núcleo (250).
- 8.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con las reivindicaciones 5 a 7, en donde las bobinas (260A, 260B) completamente ensambladas cubren toda la arandela interior (240) por ambas superficies principales de esta, de modo que tanto en

un lado como en el otro del rotor (200) se aprecian segmentos intercalados de tales bobinas (260A, 260B).

- 9.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicho motor (1000) posee únicamente dos bobinas.
- 10.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 1, en donde un segmento del motor (1000) es un grupo básico (G) que posee una longitud de arco de círculo total (L) delimitada desde el punto y hasta el punto y' sobre el círculo imaginario de referencia (a); (d) es el espaciamiento entre el punto (c) y el punto (c'); (x) es la distancia entre el punto (e), y el punto (e'); el espaciamiento entre las ranuras (d) basado en la variable (L) según la siguiente ecuación:

$$d = L/4$$

d:Espaciamiento entre ranuras

L:Longitud total de un grupo básico

la distancia (x) que hay entre los imanes (140) del rotor (100), está dada por la ecuación:

$$x = 4 d/3$$

x:Distancia entre imanes del rotor

d:Espaciamiento entre ranuras

el número de grupos básicos (G) es un número par ($2n+2$), donde $n=0$ y n es un número entero positivo sin tener un límite superior.

- 11.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el motor (1000) posee un subsistema de control electromecánico de velocidad y dirección de giro (500) para variar la velocidad y el giro del motor.
- 12.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 1 y 11, en donde al motor (1000) se adapta la sección mecánica del control electromecánico de velocidad y dirección de giro (400) que incorpora: la palanca móvil (410) para variar la posición del sensor respecto a los núcleos, con movimiento gracias a una ranura de desplazamiento (420) y un sensor de efecto hall (530)
- 13.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el motor (1000) en una modalidad está configurado para operar en modo monofásico.

14.El motor eléctrico síncrono de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el motor (1000) en otra modalidad está configurado para operar en modo bifásico conectando de modo independiente las bobinas.

* * * * *