

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 874**

51 Int. Cl.:

**H02P 25/22** (2006.01)

**H02K 3/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.06.2014 PCT/EP2014/061831**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.12.2014 WO14198663**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2014 E 14731929 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 3008814**

54 Título: **Máquina eléctrica polifásica modular**

30 Prioridad:

**11.06.2013 SI 201300154**

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

**12.08.2020**

73 Titular/es:

**GEM MOTORS D.O.O (100.0%)**

**Ljubljanska 45**

**1241 Kamnik, SI**

72 Inventor/es:

**MANDELJ, SIMON**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 778 874 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Máquina eléctrica polifásica modular

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a máquinas eléctricas y, en particular, a motores eléctricos polifásicos para su uso en un cubo de rueda de un vehículo eléctrico.

Antecedentes

10 Los vehículos accionados eléctricamente requieren motores eléctricos que sean simples, seguros, altamente eficientes y que proporcionen un buen rendimiento. Los motores eléctricos se incluyen generalmente en uno de entre dos tipos, aquellos que tienen una tensión de funcionamiento alta y aquellos con una tensión de funcionamiento baja (típicamente de 50 V o menos). Los motores eléctricos de alta tensión suponen claramente un mayor riesgo de descarga eléctrica para las personas y los animales cuando se usan en un vehículo y, de esta manera, están sujetos a estrictos requisitos de seguridad, que los convierten en una solución compleja y por consiguiente de alto coste. Con el fin de proporcionar la misma potencia, los motores de baja tensión requieren una corriente de funcionamiento más alta, ya que la potencia es el producto de la corriente y la tensión. Sin embargo, el funcionamiento de los motores eléctricos trifásicos convencionales con altas corrientes de devanado plantea diversos problemas, incluyendo la necesidad de cables y conectores más grandes y un controlador más complejo para una alta conmutación de corriente, requisitos de capacitancia más grandes y baja inductancia. Además, las pérdidas térmicas o las pérdidas en el cobre (resistencia de la bobina x corriente de bobina al cuadrado), debidas a la resistencia de los devanados se vuelven significativas.

20 El documento WO 2004073157 describe un motor eléctrico de baja tensión con devanado distribuido destinado a abordar este problema. En este motor la corriente total se distribuye a través de varias bobinas o devanados, lo que reduce significativamente la corriente del devanado. Sin embargo, cada bobina se controla por separado, lo que requiere un controlador complejo con una gran cantidad de electrónica. Un motor eléctrico trifásico de baja tensión integrado en una rueda se describe también en el documento GB2462940A. Este motor tiene una serie de conjuntos de bobinas controlados independientemente distribuidos alrededor del estator. Cada conjunto de bobina comprende tres subconjuntos de bobina, donde cada subconjunto de bobina es excitado en una fase diferente. Sin embargo, las mismas tres fases se usan en cada conjunto de bobina. Esta disposición proporciona una cierta simplificación sobre la divulgación del documento WO 2004073157, sin embargo, el controlador todavía es complejo, ya que requiere un controlador CPU independiente para cada conjunto de bobina.

30 En el documento CN 102 868 343 A se refiere a un motor sin escobillas, de imanes permanentes, de onda cuadrada de seis fases de corriente continua, que comprende un controlador, un circuito de excitación de bobinado de arranque, un grupo de circuitos de detección de valor de inductancia de bobinado desenergizado bajo un pulso de excitación y un cuerpo de motor sin escobillas, en el que el controlador está conectado al cuerpo de motor sin escobillas respectivamente, a través del circuito de excitación del devanado de arranque y el grupo circuitos de detección de valor de inductancia de devanado desenergizado bajo pulso de excitación.

35 El documento US 2003/085627 A1 divulga un sistema de accionamiento de motor, que tiene dos fuentes de alimentación con la misma frecuencia y un componente de secuencia cero adicional en una tercera frecuencia armónica, estando las fuentes de alimentación conectadas a los terminales de dos devanados del estator.

De esta manera, aunque se conoce la provisión de motores eléctricos de baja tensión y alta corriente, hay una necesidad de proporcionar dichos motores de una manera sencilla y rentable que no comprometa el alto rendimiento.

40 Sumario

Los objetos anteriores y otros se consiguen en un motor eléctrico polifásico según las características de la reivindicación independiente 1.

45 Mediante la utilización de dos o más unidades de control, operando cada una esencialmente como controladores trifásicos simples que controlan fases de corriente que están separadas  $120^\circ$ , sin embargo, cada una controlando diferentes fases que la otra unidad o unidades de control, la corriente puede distribuirse sobre al menos seis fases. De esta manera se permite la operación a baja tensión sin las desventajas asociadas de corrientes elevadas y, al mismo tiempo, el control se simplifica enormemente con relación a los sistemas convencionales.

50 Según una realización particularmente preferida de la invención, los devanados de fase controlados por una única unidad de control se seleccionan de la secuencia de devanados de fase de la siguiente manera: si  $k$  es el número de unidades de control que controlan el suministro de un total de  $m$  corrientes de fase a los devanados de fase, cada uno de los  $k$  módulos de control está configurado para controlar los devanados de fase  $i$ ,  $i + m/3$ ,  $i + m^*2/3$ , donde  $i$  es un número entero que satisface  $1 \leq i \leq k$ .

Los tres devanados de fase controlados por cada unidad de control pueden disponerse en una configuración en estrella (configuración Y) o en una configuración delta.

Según una realización preferida de la presente invención, cada unidad de control comprende un circuito de medio puente trifásico configurado para energizar los devanados de fase preferiblemente con una forma de onda de corriente sustancialmente rectangular.

Este tipo de circuito controlador es simple de construir o está fácilmente disponible y constituye una forma de control simple pero altamente eficaz. El control es particularmente sencillo, cuando se usa una forma de onda rectangular para excitar los devanados de fase, ya que el circuito controlador sólo necesita energías para dos de los tres devanados de fase conectados en un momento determinado. De manera alternativa, el circuito de medio puente trifásico puede estar configurado para usar una forma de onda de corriente sustancialmente trapezoidal o sinusoidal.

Según una realización adicional, al menos un controlador está dispuesto para controlar el funcionamiento de al menos una unidad de control. En dicha disposición, los controladores para cada unidad de control pueden ser independientes uno de otro o pueden estar conectados en red de alguna manera para permitir un intercambio de información.

En una realización preferida, un controlador central está dispuesto para controlar el funcionamiento de todas las unidades de control con el fin de proporcionar un control fino suficiente a la rotación del rotor mediante el control de la secuencia de aplicación de cada una de las diferentes corrientes de fase a los devanados de fase.

El controlador o los controladores utilizan preferiblemente modulación de anchura de pulsos.

Según una realización adicional, cada devanado de fase comprende uno o más elementos de bobina conectados en paralelo o en serie. Preferiblemente, cada devanado de fase comprende al menos dos elementos de bobina que están distribuidos uniformemente alrededor de la superficie circunferencial del estator.

Según un aspecto adicional, la invención se refiere a un vehículo accionado eléctricamente con al menos una rueda, que comprende un motor eléctrico integrado en una rueda tal como se ha descrito anteriormente.

#### Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas que se proporciona a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos. En las figuras:

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente un motor eléctrico polifásico integrado en una rueda según una realización de la presente invención,

La Fig. 2a ilustra las formas de onda de tensión inducidas por los devanados de fase dispuestos secuencialmente para cada fase del motor eléctrico polifásico,

La Fig. 2b ilustra formas de onda de corriente de excitación para los devanados de fase dispuestos secuencialmente del motor eléctrico polifásico,

La Fig. 3 ilustra esquemáticamente la disposición de control modular trifásica para el motor eléctrico polifásico según una realización de la invención,

La Fig. 4 ilustra esquemáticamente una única unidad de control modular trifásica, y

La Fig. 5 ilustra esquemáticamente la unidad de control central del motor eléctrico polifásico según una realización de la invención.

#### Descripción detallada

En la siguiente descripción se hace referencia indistintamente a una máquina eléctrica y a un motor eléctrico. Generalmente, se entiende que la expresión "máquina eléctrica" cubre tanto un motor eléctrico como un generador eléctrico. En el contexto de la presente invención, sin embargo, la expresión motor eléctrico no se limita a una disposición que convierte energía eléctrica en movimiento, sino que se pretende que abarque también una disposición en la que el movimiento puede generar energía. Las expresiones máquina eléctrica y generador eléctrico se usan de esta manera indistintamente a lo largo de esta divulgación, sin ninguna distinción prevista en su significado. A lo largo de las diversas figuras a las que se hace referencia en la siguiente descripción, se han usado los mismos números de referencia para las partes similares.

La Fig. 1 representa una máquina eléctrica adecuada para su uso integrado en ruedas, es decir, para su instalación en el cubo de rueda de un vehículo accionado eléctricamente. La máquina comprende un estator 1 interior fijo y un rotor 2 exterior que es giratorio alrededor del estator 1. Entre el rotor 2 y el estator 1 hay un pequeño espacio 3 de aire. En la

realización ilustrada, el rotor está dispuesto fuera del estator interior, sin embargo, se apreciará que la posición de estos elementos puede invertirse para proporcionar un rotor giratorio interior y un estator fijo exterior. El estator 1 interior está realizado en material magnético y está fijado a un eje 4. En su circunferencia exterior, el estator 1 está provisto de un número de ranuras 5 en la que hay elementos 6 de bobina concentrados. Las ranuras 5 definen esencialmente partes salientes, alrededor de las cuales hay dispuesto un elemento 6 de bobina. En la realización ilustrada, el estator 1 tiene 18 ranuras 5 y está provisto de esta manera de 18 elementos 6 de bobina. Tras la rotación del rotor 20 alrededor del estator, se induce una tensión o fuerza electromotriz en cada elemento 6 de bobina que tiene una fase diferente a la inducida en los elementos 6 de bobina adyacentes. En la realización ilustrada, los elementos de bobina tienen voltajes inducidos en nueve fases diferentes representadas por las letras A, B, C, D, E, F, G, H e I en la Fig. 1. Además, dos elementos 6 de bobina tendrán la misma fase de tensión inducida. Estos dos elementos 6 de bobina están situados en posiciones diametralmente opuestas en el estator. Por ejemplo, con referencia a la Fig. 1, los dos elementos A de bobina que tienen la misma fase de tensión inducida están centrados en la línea de trazos y puntos que se cruza con el radio del estator verticalmente. En la realización ejemplar, los dos elementos 6 de cada fase están conectados juntos en serie, aunque una conexión en paralelo es también posible. Se entenderá que son posibles realizaciones en las que todos los elementos de bobina dispuestos en un estator serán alimentados a una fase eléctrica diferente. De manera similar, son posibles realizaciones en las que más de dos elementos de bobina están conectados entre sí y alimentados a la misma fase eléctrica. Para los propósitos de esta divulgación, cada elemento de bobina o grupo de elementos de bobina que tienen la misma fase eléctrica, bien como una corriente de excitación o como una tensión inducida, se denominará un bobinado 6 de fase.

El rotor 2 está realizado también en material magnético, por ejemplo, acero, y tiene 20 imanes 7 fijos en una superficie interior. Los imanes están dispuestos con polaridad N-S y S-N diametralmente alternada y están separados uno de otro por un espacio muy pequeño. El número de imanes 7 es esencialmente una opción de diseño, sin embargo, es importante que los imanes 7 y las bobinas nunca puedan alinearse perfectamente, ya que el motor podría llegar a pararse en una posición en la que no se aplican fuerzas de rotación. Además, el par de reluctancia puede reducirse seleccionando el número de imanes que están cerca del número de elementos 6 de bobina.

Cuando el rotor 2 se hace girar alrededor del estator 1, de manera que los imanes 7 pasen sobre los elementos 6 de bobina, un voltaje inducido o fem periódica se induce en los elementos 6, como resultado de los cambios de flujo magnético. La Fig. 2a muestra las nueve señales de tensión,  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,  $U_D$ ,  $U_E$ ,  $U_F$ ,  $U_G$ ,  $U_H$  y  $U_I$  que se inducen en los devanados 6 de fase de cada una de las nueve fases A a I durante un período eléctrico a medida que el rotor 2 se mueve alrededor del estator 1. Se producen varios períodos de tensión durante una rotación completa del rotor 2 alrededor del estator. Más específicamente, un período eléctrico corresponde a un período de rotación/número de pares de imanes. Tal como es evidente a partir de la Fig. 2a, la tensión inducida tiene una forma trapezoidal periódica que depende de la posición angular del rotor 2. Tomando como ejemplo la tensión  $U_A$  inducida que aparece en el devanado A de fase, puede observarse en la Fig. 2a que este tiene 0 V al principio del período, es decir, a  $0^\circ$ , a continuación, aumenta linealmente entre  $0^\circ$  y  $30^\circ$  donde alcanza un valor positivo constante. Este valor se mantiene hasta  $150^\circ$  en cuyo ángulo la tensión inducida disminuye linealmente hasta  $210^\circ$ , después de lo cual se alcanza un valor negativo constante. Este valor se mantiene hasta  $330^\circ$  después de lo cual la tensión aumenta linealmente hasta llegar a 0 V al final del período en  $360^\circ$ . Cada devanado de fase subsiguiente tiene una fase de voltaje que está desplazada  $200^\circ$  (es decir, un valor absoluto de  $20^\circ$  e invertida), de manera que la tensión inducida en el devanado B de fase disminuye entre las posiciones angulares de  $20^\circ$  a  $50^\circ$ , en cuya posición alcanza un valor negativo constante. En general, el desplazamiento de fase entre las fases de los devanados de fase geoméricamente adyacentes puede definirse como  $180^\circ + 180^\circ/m$ , donde m es el número de fases. De esta manera, para un motor que tiene 6 fases, el desplazamiento de fase entre los devanados de fase adyacentes sería  $210^\circ$  y para un motor con 12 fases, el desplazamiento de fase sería de  $195^\circ$ .

Aunque en la realización ilustrada la tensión inducida tiene esencialmente forma trapezoidal, esto depende de un número de factores conocidos, que incluyen el tamaño y la forma de los imanes, la geometría del estator, el tipo de devanados, etc., de manera que una persona con conocimientos ordinarios en la técnica sería capaz de modificar la máquina para conseguir una forma de onda de tensión inducida diferente mediante la alteración de los elementos del diseño.

Con el fin de causar la rotación del motor eléctrico, cada devanado 6 de fase debe ser energizado por un flujo de corriente en la manera secuencial correcta. Una forma de onda de corriente ideal tendría la misma forma y signo que la tensión inducida ilustrada en la Fig. 2a, pero una forma de onda rectangular se usa más comúnmente en un control de corriente simple, ya que es más fácil de conseguir. La Fig. 2b muestra formas de onda de corriente,  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_D$ ,  $I_E$ ,  $I_F$ ,  $I_G$ ,  $I_H$  e  $I_I$  representativas suministradas a cada uno de los devanados A a I de bobina. Cabe señalar que, como resultado de la forma de onda rectangular, cada fase corriente tiene un valor constante durante  $2/3$  de todo el período en posiciones correspondientes a un pico en la tensión inducida, pero es cero durante el tercio restante del período. Tomando como ejemplo la corriente suministrada a la primera fase,  $I_A$  tiene un valor de cero desde  $0^\circ$  a  $30^\circ$ , a continuación, un valor positivo constante,  $I_0$  desde  $30^\circ$  a  $150^\circ$ , de nuevo cero desde  $150^\circ$  a  $210^\circ$ , un valor constante negativo,  $-I_0$ , desde  $210^\circ$  a  $330^\circ$  y finalmente cero entre  $330^\circ$  y  $360^\circ$ . La forma de onda de corriente para cada fase subsiguiente se está desplazada  $200^\circ$  (es decir,  $20^\circ$  e invertida).

Mediante la distribución de la corriente en más de nueve fases de esta manera, es posible proporcionar una secuencia de conmutación de corriente adecuada para controlar el motor con un rizado de par mínimo. Más generalmente, se ha observado que, mediante el empleo de múltiplos de tres fases, pero al menos seis fases, es posible reducir el rizado del par en varios factores en comparación con los motores que usan tres o menos fases. Además, el control de las formas de onda de corriente puede conseguirse de una manera particularmente simple tal como se describe a continuación.

Con referencia a la Fig. 3, se muestra un esquema que ilustra el control de corriente para las diversas fases de devanado. Según la presente invención, el control o el accionamiento de corriente a través de los diferentes devanados 6 de fase se efectúa usando módulos 10 de control independientes, controlando cada uno tres fases diferentes. Tal como se muestra en la Fig. 3, se ilustran tres módulos 10 de control, estando cada uno conectado a tres devanados de fase, que son alimentados por tres fases de corriente diferentes. Los tres devanados de fase se seleccionan de manera que las corrientes y las tensiones de fase inducidas entre los devanados de fase estén desplazados entre sí  $120^\circ$ . Se reconocerá que la secuencia geométrica de las corrientes de fase mostrada en la Fig. 2b no es la misma que en el dominio eléctrico. En el dominio eléctrico, las nueve fases están desplazadas secuencialmente  $40^\circ$  (es decir,  $360^\circ$  dividido por el número de fases). Usando las referencias de corriente en la Fig. 2b, las fases de corriente tienen una secuencia de fase eléctrica de  $I_A, I_C, I_E, I_G, I_I, I_B, I_D, I_F$  e  $I_H$ . De esta manera, un primer módulo 10 de control trifásico (controlador 1), controla la corriente para las fases A, G y D. El segundo módulo 10 de control (controlador 2) controla la corriente para las fases B, H y E, mientras que el tercer módulo 10 de control (controlador 3) controla la corriente para las fases C, I y F. Los devanados 3 de fase conectados a cada módulo 10 de control se muestran en una configuración en estrella. Sin embargo, también es posible conectarlas en una configuración en triángulo. La orientación de cada bobina se ilustra mediante un punto en la Fig. 3, y también en las Figs. 2 y 4. Al seleccionar tres fases que están desplazadas entre sí  $120^\circ$ , es posible utilizar una estrategia de control trifásico simple empleada comúnmente para los motores eléctricos de CC sin escobillas (conocidos también como motores BLDC), donde en cualquier momento sólo conducen corriente dos fases. Esto puede comprenderse mejor con referencia a la Fig. 2b. Cuando se consideran las formas de onda de corriente que alimentan los devanados 6 de fase A, G y D, es evidente que, en cualquier posición angular individual, uno de los devanados 6 de fase tendrá una corriente aplicada de cero, mientras que los dos restantes serán alimentados por las corrientes de pico de polaridad opuesta. Por ejemplo, cuando se considera la posición angular de  $180^\circ$ , el devanado A de fase no recibe ninguna corriente de excitación, el devanado D de fase tiene una corriente de excitación positiva y el devanado G de fase tiene una corriente de excitación negativa. Evidentemente, esto no es aplicable cuando se usan formas de onda más complejas, tales como trapezoidales o sinusoidales, pero puede conseguirse para formas de onda rectangulares.

Este enfoque modular de control de la corriente de devanado de fase puede aplicarse a cualquier configuración polifásica en la que el número de fases es un múltiplo de 3, es decir,  $m = k \cdot 3$ , donde  $k$  es un entero mayor o igual que 2 y  $m$  es el número de fases. De esta manera, este control trifásico modular puede aplicarse cuando se usan 6, 9, 12, 15, 18 o más fases, por ejemplo. Más generalmente, para  $m$  devanados de fase con un desplazamiento de fase de  $360^\circ/m$ , se requieren  $k$  módulos de control. Además, cada uno de los  $k$  módulos de control controlará los devanados de bobina  $i, i + m/3, i + m \cdot 2/3$ , donde  $i$  es un número entero que satisface  $1 \leq i \leq k$ . Aplicando esto a la realización ejemplar de la Fig. 1, un primer módulo 10 de control controla los devanados 6 de bobina  $1^\circ, 4^\circ$  y  $7^\circ$ , que corresponden a A, D y G. El segundo módulo 10 de control controla los devanados de fase  $2^\circ, 5^\circ$  y  $8^\circ$ , que corresponden a B, E y H, mientras que el tercer módulo 10 de control controla los devanados de fase  $3^\circ, 6^\circ$  y  $9^\circ$ , que corresponden a C, F e I.

Aunque en la realización ejemplar, las corrientes de excitación tienen una forma de onda rectangular, se apreciará que pueden usarse otras funciones periódicas para la corriente de control en cada uno de los módulos 10 de control trifásicos con el fin de adaptarlos a otros motores magnéticos, incluyendo, pero sin limitarse a, una forma de onda trapezoidal y una forma de onda sinusoidal. Cada módulo 10 de control puede controlarse independientemente de los otros.

Aunque el módulo 10 de control ilustrado en la Fig. 3 se muestra conectado a sólo tres devanados de fase, debería entenderse que cada bobina ilustrado pretende representar todos los devanados de fase excitados por la misma corriente de fase.

Un módulo 10 de control trifásico individual se representa en la Fig. 4. Tal como se ilustra más claramente en la Fig. 4, los tres devanados A, D y G de bobina están conectados entre sí en una configuración en estrella (configuración Y). Con el fin de controlar la corriente de las tres fases, el módulo de control comprende seis elementos 14 de conmutación semiconductores dispuestos en una configuración de medio puente y conectados a una fuente 12 de alimentación de CC. En la realización ilustrada, estos elementos de conmutación son transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido metálico (MOSFET), aunque puede usarse otra tecnología de semiconductor, tal como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Los elementos 14 de conmutación son controlados por señales 1L, 1H, 2H, 2L, 3H, 3L lógicas proporcionada por una unidad de control externa (véase la Fig. 5). La estructura y la función de este tipo de módulo de control trifásico son bien conocidas en el campo del control de motores eléctricos y no se explicarán en detalle en el presente documento. En esencia, las señales de control actúan para operar los conmutadores de dos en dos para conectar dos ramas de los devanados de bobina a la fuente de alimentación de CC en cada momento. Cada conmutador 14 está en funcionamiento durante un tercio del tiempo.

Las señales de control para cada uno de los elementos 100 de conmutación son proporcionadas por una unidad 20 de procesamiento (CPU) tal como se muestra en la Fig. 5. La unidad 20 de procesamiento tiene varias interfaces 30, 40, 50 a través de los cuales las señales son recibidas desde o transmitidas a diversos elementos en el motor o en los módulos 10 de control. Más específicamente, la unidad 20 de procesamiento recibe los datos de posición desde el motor a través de una interfaz 30 de datos de posición. Estos datos de posición indican la orientación del rotor 2 con relación al estator 1. La unidad 20 de procesamiento recibe además datos acerca de la corriente medida en cada módulo 10 de control a través de una interfaz 40 de datos de corriente. En virtud de del simple control trifásico efectuado en cada módulo de control, sólo es necesario determinar una única corriente de fase, es decir, la corriente a través de un único devanado. En el caso de usarse una forma de onda de onda de fase de corriente trapezoidal u otra forma, deben medirse al menos dos corrientes de fase en cada módulo. Por último, la unidad 20 de procesamiento envía señales de control a cada módulo 10 de control a través de la interfaz 50 de control de corriente. En base a la posición medida obtenida a través de la interfaz de datos de posición y la corriente medida en cada módulo obtenida a través de la interfaz 40 de datos de corriente, la unidad 20 de procesamiento envía señales de control a cada módulo 10 de control a través de la interfaz 50 de control de corriente con el fin de conseguir la secuencia requerida de conmutación de corriente de fase y magnitud de corriente de fase. Se aplica una estrategia de control común de conmutación rápida de elementos de conmutación, tal como una modulación de anchura de pulsos (PWM).

El uso de los módulos de control modulares y una unidad de procesamiento común significa que se consigue una reducción de hardware significativa para los accionamientos de motor polifásicos. Además, mediante una selección apropiada de las fases, es posible controlar cualquier múltiplo de 3 fases, de una manera muy simple, y aun así conseguir una distribución de corriente óptima en un motor eléctrico de baja tensión.

Aunque en la realización ejemplar, se proporciona una única unidad 20 de procesamiento o controlador común para controlar el funcionamiento de todas las unidades 10 de control, se entenderá que esta función puede implementarse mediante controladores individuales dedicados dispuestos para controlar una o más unidades de control en respuesta a las señales de posición y la corriente medida.

Tal como se ha explicado con referencia a las Figs. 1 y 3, la disposición secuencial de los devanados A-I de fase no es la misma que el orden de las fases en el dominio eléctrico. Sin embargo, la presente invención no está limitada a la disposición geométrica específica mostrada en la realización ejemplar. Más bien, los devanados de fase pueden configurarse en una secuencia que representa un desplazamiento de fase creciente en el dominio eléctrico, o en otra disposición.

Debería entenderse que la invención no está limitada a la realización precisa mostrada y la disposición descrita anteriormente puede aplicarse a una gama de máquinas eléctricas diferentes, incluyendo, pero sin limitarse a, máquina eléctrica PSMS, máquinas de reluctancia y motores eléctricos lineales.

Números de referencia

1. Estator
2. Rotor
- 35 3. Espacio de aire
4. Eje de cojinete
5. Ranura
6. Devanado de fase
7. Imán
- 40 10. Módulo de control
12. Fuente de alimentación de CC
14. Elemento de conmutación
20. Unidad de CPU
30. Interfaz de datos de posición
- 45 40. Interfaz de datos de corriente
50. Interfaz de control de corriente

**REIVINDICACIONES**

1. Motor eléctrico polifásico que comprende un rotor (2) y un estator (1), en el que el rotor comprende un número de imanes (7) dirigidos hacia el estator (1), y
- 5 en el que el estator (2) incluye múltiples devanados (6) de fase dispuestos alrededor de una superficie circunferencial de dicho estator y dirigidos hacia dichos imanes, estando conectados dichos devanados (6) de fase a las unidades (10) de control adaptadas para aplicar selectivamente una corriente a dichos devanados de fase para inducir una fuerza electromagnética que actúa sobre los imanes del rotor para efectuar una rotación del rotor,
- 10 en el que el motor comprende al menos dos unidades (10) de control, estando configurada cada unidad (10) de control para controlar el suministro de corriente a tres devanados (6) de fase de manera que se suministre una corriente de fase diferente a cada uno de los tres devanados de fase con un desplazamiento de fase entre dichas corrientes de fase diferentes de  $120^\circ$ , en el que no hay dos unidades de control que utilicen la misma fase de corriente,
- 15 en el que los devanados (6) de fase son excitados por una de entre m fases de corriente diferentes, donde m es un múltiplo de 3 y al menos igual a 6, y en el que el desplazamiento de fase entre las fases de corriente es de  $360^\circ/m$ , y la disposición de devanados (6) de fase alrededor de la superficie circunferencial del estator (1) es tal que cada devanado (6) de fase es excitado por una corriente que tiene un desplazamiento de fase de  $180^\circ + 180^\circ/m$  con relación a la corriente en un devanado de fase adyacente, donde m es el número total de corrientes de fase.
- 20 2. Motor eléctrico polifásico según la reivindicación 1, en el que si k es el número de unidades (10) de control que controlan el suministro de un total de m corrientes de fase a m devanados de fase dispuestos en secuencia de 1 a m alrededor de la superficie circunferencial del estator, cada uno de los k módulos de control está configurado para controlar los devanados de fase  $i$ ,  $i + m/3$ ,  $i + m*2/3$ , donde i es un número entero que satisface  $1 \leq i \leq k$ .
- 25 3. Motor eléctrico polifásico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los tres devanados (10) de fase controlados por cada unidad (10) de control están dispuestos en una configuración en Y.
4. Motor eléctrico polifásico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los tres devanados (10) de fase controlados por cada unidad (10) de control están dispuestos en una configuración en delta.
5. Motor eléctrico polifásico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada unidad (10) de control comprende un circuito de medio puente trifásico configurado para energizar dichos devanados (6) de fase, preferentemente con una forma de onda de corriente rectangular.
- 30 6. Motor eléctrico polifásico según la reivindicación 5, en el que dicho circuito de medio puente trifásico está configurado para energizar dichos devanados (6) de fase con una forma de onda de corriente trapezoidal o sinusoidal.
7. Motor eléctrico polifásico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un controlador (20) dispuesto para controlar la operación de al menos una unidad (10) de control.
- 35 8. Motor eléctrico polifásico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un controlador (20) dispuesto para controlar la operación de todas las unidades (10) de control.
9. Motor eléctrico polifásico según la reivindicación 7 o 8, en el que dicho controlador (20) utiliza modulación por anchura de pulsos.
10. Motor eléctrico polifásico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada devanado (6) de fase comprende uno o más elementos de bobina conectados en serie o en paralelo.
- 40 11. Motor eléctrico polifásico según la reivindicación 10, en el que cada devanado de fase comprende al menos dos elementos (6) de bobina que están distribuidos uniformemente alrededor de la superficie circunferencial del estator.
12. Vehículo accionado eléctricamente con al menos una rueda, que comprende un motor eléctrico integrado en una rueda según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

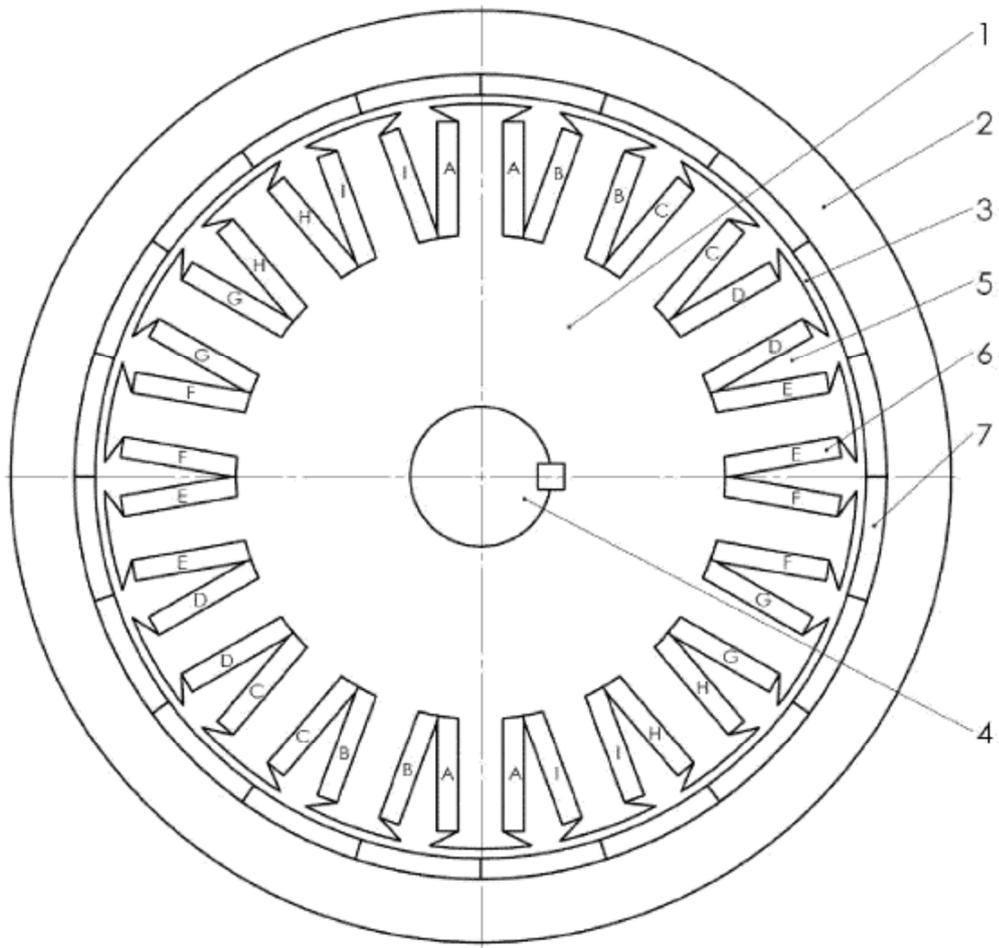


Fig. 1

Fig. 2a

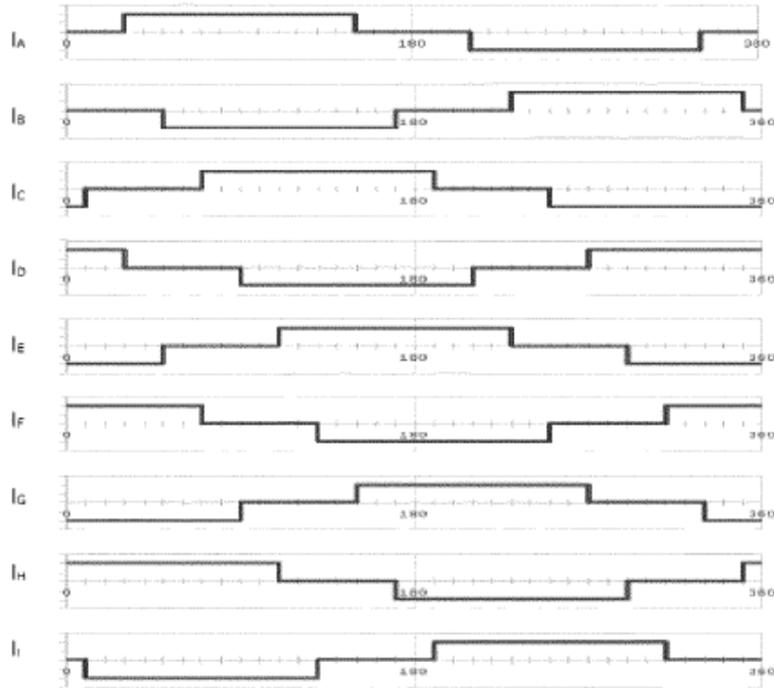
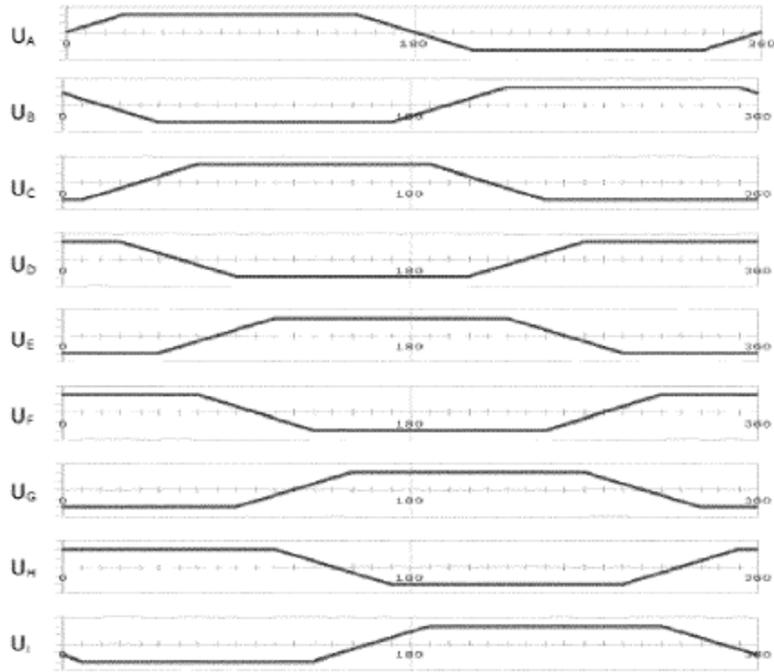


Fig. 2b

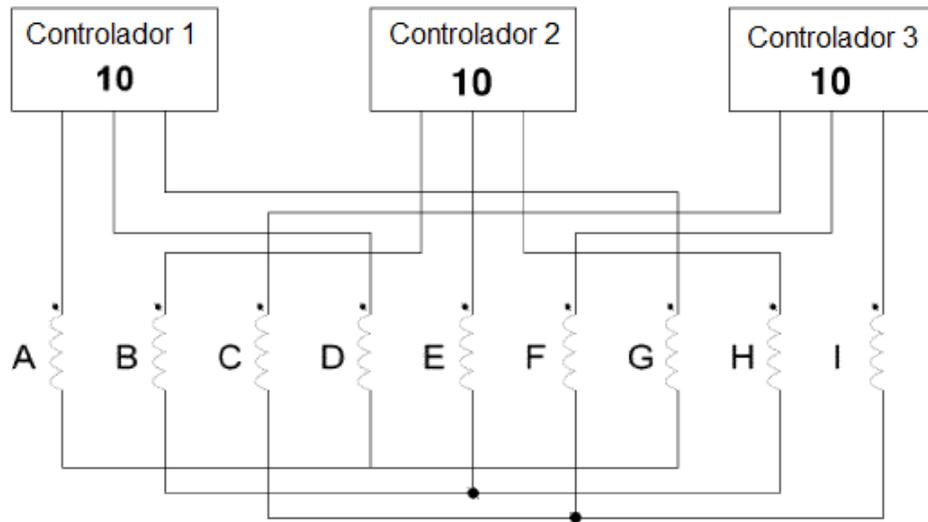


Fig. 3

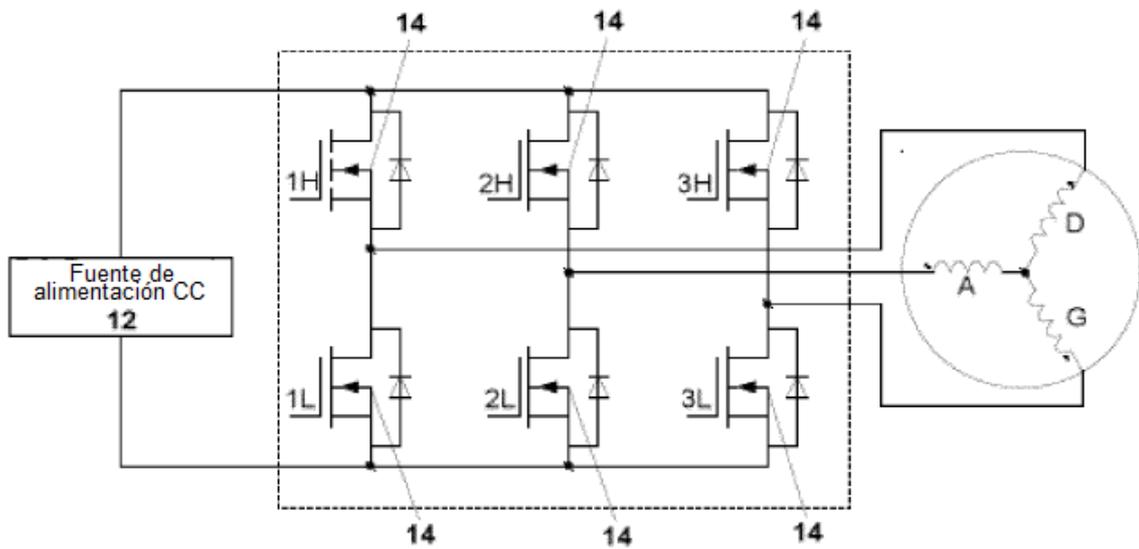


Fig. 4

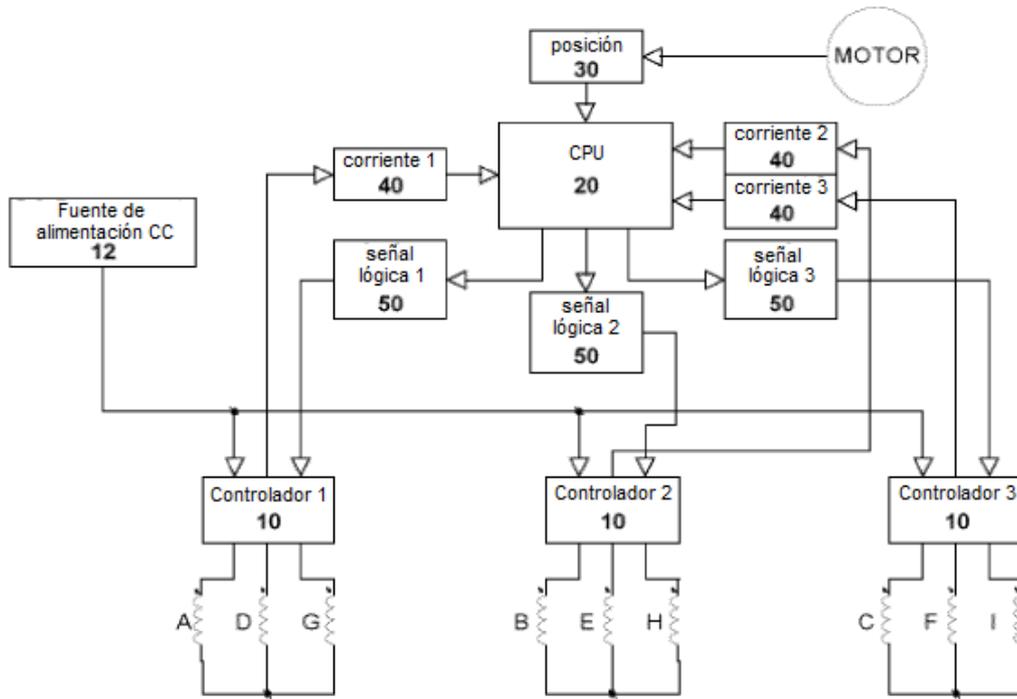


Fig. 5