

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 770 370**

51 Int. Cl.:

H02P 23/08 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 23/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.01.2017 PCT/EP2017/051904**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17144238**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2017 E 17702088 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 3420633**

54 Título: **Motor de inducción doblemente alimentado**

30 Prioridad:

23.02.2016 EP 16156807

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

01.07.2020

73 Titular/es:

**NRG TECH LTD. (100.0%)
j.k.Bokar bl. 43, ap.1
1404 Sofia, BG**

72 Inventor/es:

PETKANCHIN, LACHEZAR LAZAROV

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 770 370 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

Motor de inducción doblemente alimentado

5 La presente invención se refiere a un motor eléctrico doblemente alimentado y a un método para hacer funcionar un motor eléctrico doblemente alimentado.

10 A pesar de que los motores eléctricos sincrónicos en general son más eficaces que los motores eléctricos de inducción, los motores de inducción se utilizan todavía ampliamente en muchas aplicaciones. Las razones son el bajo coste, el menor mantenimiento y su sencillo diseño en comparación con los motores sincrónicos. Una de las razones de la baja eficacia de los motores de inducción es el hecho de que el campo de flujo magnético del rotor es muy difícil de controlar en términos de resistencia y dirección. En condiciones de estado estable (RPM y par constantes) el ángulo entre el vector de FMM (fuerza magnetomotriz) del estátor y el vector de flujo magnético del rotor no se encuentra a 90° óptimos (eléctrico). Como resultado de ello, se tiene que mantener una corriente eléctrica superior en el estátor y rotor llevando a pérdidas óhmicas y de entrehierros, lo cual reduce la eficacia y puede provocar problemas de sobrecalentamiento. Además, lleva mucho tiempo aumentar el campo del rotor cuando se requiere un par instantáneo por parte del motor. El proceso de excitar adicionalmente el rotor puede llevar hasta segundos, tiempo durante el cual el motor puede bloquearse, llevando a una variedad de problemas. Una alternativa más eficaz a los sencillos motores de inducción son los denominados motores eléctricos doblemente alimentados, en los que el campo del rotor se controla de forma más precisa externamente por medio de anillos rozantes o excitadores electromagnéticos adicionales.

20 El documento US 2015/145466 A1 muestra un motor eléctrico doblemente alimentado con una fuente de alimentación de red monofásica o una fuente de alimentación de corriente continua al estátor. Los documentos adicionales US 4 982 147 A y US 2015/349687 A1 también muestran máquinas eléctricas doblemente alimentadas, sin embargo, para controlar el campo de vector del rotor, estos documentos proponen utilizar una fuente de alimentación externa adicional conectada a un inversor de rotor mediante anillos rozantes convencionales.

25 Sin embargo, los anillos rozantes están sometidos a desgaste y necesitan un mantenimiento frecuente.

También existen las denominadas máquinas eléctricas doblemente alimentadas sin escobillas conocidas de la técnica anterior, tal como el documento US 6.278.211 B1. Estas máquinas utilizan devanados de estátor y rotor adicionales dedicados solo a transmitir energía hacia y desde el rotor mediante inducción electromagnética.

30 Por lo tanto, es un objeto de la actual invención proporcionar un motor eléctrico doblemente alimentado sin el uso de anillos rozantes o excitadores electromagnéticos, con una mejor capacidad de control del vector de campo del rotor, tanto en términos de dirección como de resistencia que los motores eléctricos doblemente alimentados y de inducción de la técnica anterior.

35 Este objeto se logra mediante un motor eléctrico de acuerdo con la reivindicación 1 y mediante un método para hacer funcionar un motor eléctrico de acuerdo con la reivindicación 15. Ventajas y características adicionales de realizaciones preferentes de la presente invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

40 De acuerdo con la divulgación, un motor eléctrico doblemente alimentado comprende un estátor, un rotor y un dispositivo de control, en concreto, un dispositivo de control de rotor, que está dispuesto en el rotor, en donde el estátor está adaptado para inducir FEM (fuerza electromotriz) en el rotor durante su funcionamiento, y en donde el rotor tiene no menos de tres devanados de rotor, a los cuales se puede inducir FEM, y que están eléctricamente conectados al dispositivo de control, y en donde el estátor tiene no menos de tres devanados de estátor, y en donde el dispositivo de control está adaptado para variar el factor de alimentación basándose en y utilizando la FEM inducida en el rotor, y para variar al menos una de las corrientes eléctricas en los devanados de rotor, y/o el ángulo del vector de flujo magnético del rotor, y en donde el dispositivo de control está adaptado para variar la fase, frecuencia y/o la magnitud/amplitud de la corriente del rotor utilizando FEM inducida al rotor de tal modo para conseguir un ángulo óptimo de 90° entre el vector de flujo magnético del rotor y el vector de fuerza magnetomotriz (FMM) del estátor.

50 El dispositivo de control de rotor está adaptado para atraer energía eléctrica que procede de los devanados de rotor en el momento adecuado de tiempo y para almacenar una parte de esa energía en forma de carga eléctrica en una unidad de almacenamiento de energía de rotor, a saber, un banco de condensadores. Por consiguiente, se crea un potencial eléctrico entre los terminales de la unidad de almacenamiento de energía de rotor. La energía almacenada en la unidad de almacenamiento de energía de rotor se emplea, a continuación, para variar la resistencia y el ángulo del campo de flujo magnético del rotor, con respecto al rotor mismo y/o el deslizamiento del motor aplicando potencial eléctrico a los devanados de rotor para modificar la corriente en los devanados de rotor en el momento

adecuado de tiempo, utilizando el potencial eléctrico ya creado en la unidad de almacenamiento de energía de rotor.

De modo ventajoso, el dispositivo de control del rotor está adaptado para variar la fase y/o la magnitud/amplitud de la corriente del rotor para adaptar el ángulo y la magnitud del vector de flujo magnético del rotor, en concreto, el campo de flujo magnético del rotor. De este modo, la corriente puede desplazarse hacia delante y hacia atrás a tiempo para su sincronización con la FEM inducida en el rotor. Además, el nivel, la magnitud o amplitud de la corriente puede aumentarse o disminuirse lo cual significa que la corriente en los devanados puede variarse/modularse.

Además, el dispositivo de control del rotor está preferentemente adaptado para variar la frecuencia y/o la magnitud/amplitud de la corriente del rotor para adaptar el deslizamiento. La frecuencia de deslizamiento se define como la diferencia entre la frecuencia de rotación (sincrónica) del vector de FMM del estátor y la frecuencia de rotación del eje real. El deslizamiento se define como la relación de la frecuencia de deslizamiento sobre la frecuencia sincrónica. El deslizamiento varía desde cero a velocidad sincrónica y uno cuando el rotor se encuentra en descanso.

De acuerdo con una realización, el rotor comprende una pluralidad de devanados de rotor, respectivamente, eléctricamente conectados al dispositivo de control de rotor. Más en concreto, eléctricamente conectados a una unidad de inversor de rotor como parte del dispositivo de control de rotor. De acuerdo con una realización preferente, se enrollan tres devanados de rotor a una inclinación de 120° unos con otros y están conectados en una conexión en estrella o delta. De este modo, se inducirá CA trifásica a los tres devanados del rotor debido al campo magnético del estátor giratorio alrededor de los devanados de rotor.

La frecuencia de la FEM en el rotor es igual a la frecuencia de deslizamiento. El dispositivo de control del rotor está adaptado para realizar un desplazamiento de fase de corriente eléctrica en todos los tres devanados del rotor de modo que la corriente en cualquier devanado se encuentra preferentemente en fase con la FEM inducida en él. Sin embargo, la FEM inducida en el rotor siempre tiene un atraso de 90° eléctricos con respecto al vector de FMM del estátor giratorio (de acuerdo con la ley de Faraday de inducción electromagnética). También el vector de flujo magnético del rotor es directamente proporcional al vector de corriente del rotor. De este modo, si la corriente de CA del rotor se mantiene en fase con la FEM inducida, el vector de flujo magnético del rotor también tendrá un atraso de 90° eléctricos exactos con respecto al vector de FMM del estátor. Esta condición es ideal, ya que el par máximo por unidad de corriente se logra exactamente cuando el vector de flujo del rotor y el vector de FMM del estátor se encuentran a 90° eléctricos. Claramente, esto no es así para motores de inducción estándar, en los que existe un atraso adicional en la corriente del rotor y, de este modo, del vector de flujo del rotor, a saber $90^\circ + \phi$ con respecto al vector de FMM del estátor y siempre el ángulo de desplazamiento $\phi > 0$. Esto se debe a que el rotor de la técnica anterior consiste en un número de bucles eléctricos puramente RL (inductivo resistivo), que provocan un atraso de corriente en cada bucle del rotor con respecto a la FEM inducida en el bucle. En otras palabras, el factor de alimentación de los bucles del rotor en la técnica anterior es inferior a 1, lo cual desplaza el vector de flujo del rotor de modo que no se encuentra a 90° con respecto al vector de FMM del estátor.

De acuerdo con una realización, el dispositivo de control del rotor comprende una unidad controladora de rotor, una unidad de inversor de rotor, una unidad de almacenamiento de energía, una unidad de comunicación y/o una unidad de medición de potencial eléctrico. Preferentemente, el dispositivo de control del rotor comprende un sensor de acelerómetro capaz de medir la aceleración tangencial y/o radial.

Como el rotor está adaptado para funcionar a una variedad de frecuencias de deslizamiento, no es adecuado utilizar elementos pasivos (como condensadores simples) o circuitos RL simples para corregir la fase de la corriente del rotor. Por lo tanto, el dispositivo de control del rotor contiene una unidad controladora que es preferentemente un dispositivo programable activo que comprende al menos un bucle de control, por ejemplo, un bucle de control PI (Proporcional-Integral), y/o al menos una unidad de inversor de rotor. De acuerdo con una realización, cada bucle de control PI comprende un controlador de retroalimentación o de bucle.

La retroalimentación se proporciona por sensores de corriente en los devanados de rotor, sensor de potencial eléctrico en la unidad de almacenamiento de energía y otros sensores como sensor de temperatura, codificador de posición de eje, acelerómetro y otros. En particular, la unidad controladora del rotor está adaptada para hacer funcionar los bucles de control PI y/o la(s) unidad(es) de inversor de rotor. El sistema completo está dispuesto de forma ventajosa en el rotor y, por lo tanto, da vueltas o gira con el rotor.

Preferentemente, el dispositivo de control del rotor que tiene una unidad controladora, un dispositivo de almacenamiento de energía y una unidad de inversor de rotor, que comprende, por ejemplo, una pluralidad de transistores y diodos. Los devanados del rotor están eléctricamente conectados a la unidad de inversor de rotor.

Además, el dispositivo de control comprende una unidad de suministro de alimentación adaptada para alimentar la

unidad controladora de rotor con alimentación de CC, necesaria en particular para su funcionamiento. Los devanados del rotor también están eléctricamente conectados a la unidad de suministro de alimentación.

5 De acuerdo con una realización preferente, la unidad de almacenamiento de energía comprende al menos un condensador. Estos componentes están preferentemente también conectados a los devanados del rotor. El sensor de medición de potencial eléctrico está unido a ambos terminales de la unidad de almacenamiento de energía y pasa información a la unidad controladora del rotor. También hay un resistor conmutable conectado a la unidad de almacenamiento de energía. En caso se acumule demasiada energía en la unidad de almacenamiento de energía, parte de esa energía puede disiparse como calor por medio del resistor conmutable.

10 De acuerdo con una realización, la unidad de almacenamiento de energía es un banco de capacidad en el que se almacena energía eléctrica en forma de carga eléctrica. Esta energía se utiliza, a continuación, para modular de forma adecuada la frecuencia y/o magnitud/amplitud del vector de corriente del rotor de modo que se mantiene lo más cerca a los 90° con respecto al vector de FMM del estátor. En condiciones estables, el módulo de inversor de rotor produce un coeficiente de utilización de PWM sinusoidal, controlado por la unidad controladora del rotor la cual hace que la corriente del rotor aparezca de forma más temprana y, al hacerlo, elimina el retraso de fase de la corriente del rotor en sus circuitos, de otro modo, puramente RL. La frecuencia generada por el inversor de rotor se mantiene igual a la frecuencia de deslizamiento instantánea. Cuando el inversor de rotor aumenta su frecuencia trifásica, la frecuencia de deslizamiento también aumenta igualmente. Más deslizamiento proporciona una FEM inducida superior en el rotor y la corriente en los devanados de rotor también aumenta, lo cual aumenta el flujo del rotor. Si el inversor de rotor disminuye su frecuencia trifásica, la frecuencia de deslizamiento también disminuye igualmente. Menos deslizamiento conlleva una disminución en la FEM inducida en el rotor y la corriente en los devanados de rotor también disminuye, lo cual reduce el flujo del rotor. También se puede variar el flujo del rotor ajustando el coeficiente de utilización del módulo del inversor de rotor sin tener que ajustar el deslizamiento. De este modo, el flujo del rotor puede variarse de forma ventajosa dependiendo del par requerido.

25 El dispositivo de control del estátor está adaptado para proporcionar CA al estátor. De acuerdo con una realización, el dispositivo de control del estátor comprende también una unidad controladora de estátor con al menos un bucle de control incorporado en ella, por ejemplo, un bucle de control PI (Proporcional-Integral), y/o al menos una unidad de inversor.

De acuerdo con una realización, el módulo del dispositivo de control del estátor está adaptado para variar la frecuencia, fase y/o la magnitud/amplitud de la corriente o tensión del estátor.

30 En una realización preferente, el dispositivo de control del rotor y la unidad controladora del rotor en particular pueden programarse para ajustar el deslizamiento y otros parámetros del rotor basándose en la lógica integrada (bucles de control PI). En otra realización, el dispositivo de control del rotor puede recibir comandos externos por medio de una unidad de comunicación inalámbrica y ajustar el deslizamiento y otros parámetros del rotor en consonancia. En tal realización, los bucles de control PI se ejecutan fuera del rotor. Preferentemente, el dispositivo de control del estátor y su unidad controladora de estátor programable integrada ejecuta bucles PI fuera del rotor. También el dispositivo de control del rotor envía información sobre el estado y condición del rotor al mundo exterior y/o al dispositivo de control de estátor por medio de la misma unidad de comunicación inalámbrica. Tal información se utiliza como parte de la retroalimentación a los bucles PI que se ejecutan en la unidad controladora del estátor. Otra parte de la retroalimentación son datos que proceden de los sensores de corriente (80).

40 Preferentemente, el dispositivo de control del rotor se alimenta completamente por la FEM inducida en el rotor por medio del campo giratorio del estátor y no necesita ningún módulo de transferencia de alimentación adicional tal como anillos de rozamiento o excitadores electromagnéticos.

45 De acuerdo con una realización, el motor eléctrico doblemente alimentado comprende una unidad de conmutación de rotor adaptada para conectar eléctricamente los devanados de rotor a la unidad de inversor de rotor en una variedad de configuraciones alternativamente seleccionables. Preferentemente, la unidad de conmutación del rotor está adaptada para cambiar un número de polos magnéticos del rotor.

Preferentemente, el motor eléctrico puede hacerse funcionar como motor y/o como generador.

50 De acuerdo con una realización, el rotor y/o el estátor pueden también proporcionarse con unidades de conmutación de número de polos para cambiar, de forma ventajosa, los números de polos del motor eléctrico doblemente alimentado durante su funcionamiento para optimizar la eficiencia con respecto a las RPM momentáneas y requerimientos de par. Una unidad de conmutación de rotor está preferentemente unida al rotor, lo cual significa que también gira/da vueltas con el rotor. En tal realización, la unidad de conmutación de rotor forma parte del dispositivo de control del rotor y se controla por la unidad controladora de rotor. De acuerdo con una realización preferente, la

unidad de conmutación de rotor tampoco necesita ningún anillo de rozamiento ni excitadores electromagnéticos. En tal realización, el rotor y el estátor contienen preferentemente 6 devanados cada uno. Los devanados se distribuyen a una inclinación de 60° sobre el rotor y el estátor. Las unidades de conmutación de rotor y estátor pueden eléctricamente conectar de forma simultánea los devanados del rotor y estátor con las respectivas unidades de inversor de rotor y estátor en una configuración delta para hacer funcionar el motor eléctrico doblemente alimentado en una configuración de cuatro polos magnéticos. Las unidades de conmutación de rotor y estátor también pueden estar alternativamente conmutadas para conectar eléctricamente devanados de rotor y estátor respectivamente a unidades de inversor de rotor y estátor en una configuración de estrella doble para hacer funcionar el motor eléctrico doblemente alimentado en una configuración de dos polos magnéticos. Otras realizaciones con un número distinto de conjuntos de números de polos magnéticos de rotor y estátor alternativamente conmutables también son posibles y preferentes. La conmutación del número de polos magnéticos tiene lugar en tres etapas realizadas en rápida sucesión:

- Cuando las RPM se sitúan por debajo de un punto preestablecido, ambos controladores de rotor y estátor desactivan el coeficiente de utilización de los inversores de rotor y estátor.

- Ambas unidades de conmutación de rotor y estátor se les ordena conmutar los devanados de rotor y estátor a una posición de cuatro polos magnéticos (configuración delta).

- Ambos inversores de rotor y estátor restablecen su coeficiente de utilización al doble de sus frecuencias iniciales cada uno.

La misma conmutación de cuatro a dos polos magnéticos tiene lugar de un modo similar cuando las RPM superan un punto preestablecido, sin embargo, el coeficiente de utilización de los inversores de rotor y estátor se restablece a la mitad de sus frecuencias iniciales cada uno. El ajuste de frecuencia resulta importante para sincronizar la velocidad de rotación del vector de FMM del estátor y el vector del campo del rotor con la velocidad de rotación del eje real, la cual permanece casi inalterable durante el proceso de conmutación de número de polos magnéticos. Sin embargo, la velocidad de rotación física de ambos vectores cambiaría debido al cambio de número de polos magnéticos y necesita ajustarse para coincidir de nuevo con la velocidad de rotación del eje. El proceso de conmutación de número de polos magnéticos se sincroniza sobre la unidad de comunicación para que tenga lugar simultáneamente sobre el rotor y el estátor.

De acuerdo con una realización, el motor eléctrico doblemente alimentado comprende al menos un codificador de ángulo de posición, en donde al menos un codificador de ángulo de posición es un codificador de ángulo de posición de eje. De este modo, se conoce exactamente el vector de corriente del rotor a partir de mediciones que se han tomado sobre el rotor mismo y agregando el ángulo del eje conocido a partir del codificador de ángulo de posición. En otra realización, se emplea un método sin sensor para determinar el ángulo del vector de flujo del rotor.

De acuerdo con una realización, el motor eléctrico doblemente alimentado comprende al menos un sensor de corriente, en donde preferentemente se sitúan al menos dos sensores de corriente en los devanados del rotor.

De acuerdo con una realización, el motor eléctrico doblemente alimentado comprende un dispositivo de control de estátor que está eléctricamente conectado a los devanados del estátor, en donde el módulo inversor está dirigido por la unidad controladora del estátor la cual es un dispositivo programable. Preferentemente, la unidad controladora de estátor puede intercambiar información con la unidad controladora de rotor por medio de la unidad de comunicación.

En una realización, la unidad de comunicación puede ser una unidad de comunicación con o sin cables. En otra realización, los dispositivos de control de rotor y estátor están equipados con unidades de codificación/decodificación que imponen una señal de alta frecuencia modulada con baja potencia a los devanados del rotor y estátor. Los mensajes se codifican en FM en esta alta frecuencia variable, que pasa a través del entrehierro induciendo una pequeña FEM con la misma frecuencia en FM en los devanados opuestos. La señal se filtra fuera en el otro extremo fuera de los devanados opuestos, decodificada por la correspondiente unidad de codificación/decodificación. De este modo, los dispositivos de control de rotor y estátor pueden intercambiar información sin la necesidad de antenas o cables adicionales.

La invención se refiere también a un método para hacer funcionar un motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con la reivindicación 15.

De acuerdo con una realización, el método comprende las siguientes etapas:

- utilizar FEM inducida en los devanados de rotor para almacenar energía eléctrica en la unidad de almacenamiento de energía

- utilizar energía almacenada en la unidad de almacenamiento de energía y el par necesario y/o RPM para modificar, ajustar la corriente eléctrica en los devanados del rotor
 - utilizar información enviada desde el dispositivo de control de rotor por medio de la unidad de comunicación y par necesario y/o RPM para ajustar las corrientes eléctricas en los devanados del estátor.
- 5
- utilizar información que procede de sensores de corriente en devanados del rotor, sensor de potencial eléctrico en la unidad de almacenamiento de energía y otros sensores como sensor de temperatura, codificador de posición del eje o sensores de acelerómetro y otros, así como el par necesario y/o RPM para seleccionar y conmutar en un número de polos magnéticos adecuados en el rotor y estátor.
 - generar FEM en los devanados del rotor pulsando, no girando, el vector de FMM del estátor.
- 10
- Un procedimiento de arranque del motor eléctrico puede ser del siguiente modo. Inicialmente, no hay corriente en el rotor y el estátor. A continuación, el módulo del dispositivo de control del estátor genera un vector de FMM pulsante (no giratorio) en el estátor modulando el coeficiente de utilización bajo constante en la unidad de inversor de estátor. Esto se puede realizar simplemente «activando» y «desactivando» solo uno de los seis transistores de la unidad de inversor del estátor. Puesto que este vector de FMM generado de este modo no está girando, no hay ningún par actuando en el eje, solo se generarán pequeñas fuerzas radiales que actúan en el rotor. Se induce una FEM relativamente pequeña en los devanados del rotor debido al vector de FMM pulsante del estátor. Como el vector de FMM no está girando, no habrá par en el eje. Los diodos de la unidad de inversor del rotor actúan como rectificadores y la unidad de almacenamiento de energía (condensador(es) recibe(n) la carga eléctrica que lleva a la acumulación de potencial eléctrico entre sus terminales. El dispositivo de suministro de alimentación se activa por el potencial eléctrico que procede del/de los condensador(es) y produce alimentación de CC precisamente acondicionada a la unidad controladora del rotor. La unidad controladora del rotor inicia y envía la señal de «listo para usar» a la unidad controladora del estátor por medio de la unidad de comunicación. Después de lograr este estado, el motor eléctrico aún no genera ningún par, aunque se encuentra en el modo de «espera» y listo para funcionar. Cuando se inicia el vector de FMM del estátor giratorio en el estátor con una frecuencia de rotación por encima de alguna frecuencia de deslizamiento mínima habrá par en el eje y una rotación final. El par y/o RPM ordenadas se reciben por medio de la interfaz externa, conectada al dispositivo de control del estátor.
- 15
- 20
- 25

En lo que sigue, se describen distintos modos de funcionamiento utilizando las siguientes expresiones:

$f_{\text{estátor}}$	frecuencia trifásica generada por la unidad de inversor del estátor, también frecuencia de rotación del vector de FMM.
f_{rotor}	frecuencia trifásica generada por la unidad de inversor del rotor
$f_{\text{eje}} = f_{\text{estátor}} - f_{\text{rotor}}$	frecuencia de rotación del eje (frecuencia de rotación física del eje del motor)
$\omega_{\text{rotor}} = 2\pi f_{\text{rotor}}$	velocidad angular del vector de flujo del rotor, con respecto al rotor mismo
$\omega_{\text{estátor}} = 2\pi f_{\text{estátor}}$	velocidad angular del vector de FMM del estátor
$\omega_{\text{eje}} = 2\pi f_{\text{eje}} = \omega_{\text{estátor}} - \omega_{\text{rotor}}$	velocidad angular del eje físico
$\vec{I}_{\text{estátor}}$	vector de corriente del estátor, directamente proporcional al vector de FMM del estátor
\vec{I}_{rotor}	vector de corriente del rotor, directamente proporcional al vector de flujo del rotor
$T(\vec{I}_{\text{rotor}}, \vec{I}_{\text{estátor}})$	par instantáneo, derivado del rotor del vector y corriente del estátor
$\Theta(\vec{I}_{\text{rotor}}, \vec{I}_{\text{estátor}})$	ángulo entre vectores de corriente del rotor y estátor, también igual al ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estátor.

Operación de control orientada al campo - empleando sensores de corriente

Primera etapa: medición de corrientes del estátor y rotor en dos fases utilizando cada una sensores de corriente.

- 30
- Segunda etapa: cálculo de ángulos de flujo magnético de rotor y estátor $\Theta(\vec{I}_{\text{rotor}}, \vec{I}_{\text{estátor}})$ (conociendo dos corrientes de fase de rotor medidas y dos corrientes de fase de estátor). El ángulo de flujo del rotor se determina agregando el ángulo de la posición física del rotor y el ángulo de flujo del rotor con respecto al rotor mismo. La

posición instantánea física del rotor se determina a partir del codificador de ángulo de posición del rotor. El ángulo de flujo del rotor con respecto al rotor mismo se calcula en función de dos corrientes medidas en dos

5 devanados de rotor. También se conocen métodos sin sensor para calcular el ángulo $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ a partir de la técnica anterior. Se sabe que el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y el estator influye en el desplazamiento de fase de corriente del estator (FEM de vuelta). El vector de flujo del rotor a su vez, también induce FEM en el estator. Esta FEM de vuelta crea un vector de corriente adicional en el estator que influye en el desplazamiento de fase completa en el estator. Midiendo esta influencia, existen métodos para calcular los valores del ángulo entre el flujo del rotor y estator a partir de valores medidos de corriente eléctrica del estator correspondientes, su desplazamiento de fase y velocidad angular.

10 Preferentemente, se conoce exactamente el vector de corriente del rotor \vec{i}_{rotor} a partir de mediciones tomadas en el rotor mismo, mientras que en la técnica anterior se calcula a partir de los efectos provocados en el estator lo cual resulta un método mucho más lento e impreciso.

Tercera etapa: Si el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ es inferior a 90° , entonces se realiza al menos una de las siguientes etapas:

- 15
- la unidad controladora del rotor ordena a la unidad de inversor del rotor reducir la velocidad angular ω_{rotor} de la corriente trifásica del rotor. Tal acción reducirá el deslizamiento, aumentará las RPM del eje (ω_{eje}) y llevará el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ más cerca de los 90° ; tal acción no es posible con los motores de inducción de la técnica anterior;
- 20
- ordenar al inversor del estator aumentar la velocidad angular del estator (ω_{estator}) tal acción también aumentará las RPM del eje o ω_{eje} ;
 - ordenar al inversor del estator disminuir el coeficiente de utilización del estator; tal acción mantendrá las RPM y disminuirá el par.

Si el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ es superior a 90° , entonces se realiza al menos una de las siguientes etapas:

- 25
- la unidad controladora de rotor ordena a la unidad de inversor de rotor aumentar la frecuencia de la corriente trifásica del rotor (ω_{estator}) para adelantar el vector de corriente del rotor. Tal acción aumentará el deslizamiento, disminuirá las RPM del eje (ω_{eje}) y llevará el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ más cerca de los 90° ; tal acción no es posible con los motores de inducción de la técnica anterior;
- 30
- ordenar al inversor del estator reducir la frecuencia del estator (ω_{estator}); tal acción también disminuirá las RPM del eje o ω_{eje} ;
 - ordenar al inversor del estator aumentar el coeficiente de utilización del estator; tal acción aumentará el par;
 - Si resulta necesario, repetir al menos una de las anteriores etapas.

Operación de control orientada al campo - empleando bucles de control PI

35 El control del motor se puede realizar utilizando bucles de control Proporcional-Integral (PI):

- En un primer bucle de control, un ángulo $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ se compara con 90° . Si $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}}) < 90^\circ$ se suministra un mensaje de error al controlador PI que disminuye de forma adecuada el ω_{rotor} . De modo contrario, el controlador PI aumenta de forma adecuada el ω_{rotor} .
 - En un segundo bucle de control, se calcula el par instantáneo a partir de los valores de las corrientes del rotor y estator y la suposición de que sus vectores se encuentran a 90° . El par instantáneo $\tau(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ se compara con el par ordenado y se suministra un mensaje de error al controlador PI. Si se necesita más par que el inversor del estator se ordena aumentar de forma adecuada su coeficiente de utilización, que aumentará finalmente las corrientes del estator y rotor, reflejándose en un par superior.
- 40

- En un tercer bucle de control, las RPM ordenadas se comparan con $\omega_{\text{estator}} - \omega_{\text{rotor}}$ que es la velocidad angular del eje - ω_{eje} real.
- Si la ω_{eje} medida es inferior a la ordenada, se ordena al inversor del estator aumentar de forma adecuada su frecuencia. De otro modo, se proporciona la ordena opuesta.

Figura 1 muestra una vista esquemática en perspectiva de un motor eléctrico que comprende un dispositivo de control de rotor unido al rotor;

Figura 2a muestra un esquema de diseño de una realización del motor eléctrico con las unidades de conmutación de rotor y estator que conectan devanados de rotor y estator en una configuración de estrella doble;

Figura 2b muestra un esquema de diseño de una realización del motor eléctrico con las unidades de conmutación de rotor y estator que conectan devanados de rotor y estator en una configuración delta;

Figura 3 muestra un gráfico que visualiza distintos métodos para hacer funcionar el motor eléctrico;

Figura 4 muestra un método para calcular el ángulo de flujo magnético a partir de valores de dos corrientes conocidas que proceden de corriente trifásica.

5 La Fig. 1 muestra una vista esquemática en perspectiva de un motor con un rotor 40 que comprende un eje 90. Un dispositivo de control 60 está unido al rotor 40 o al eje 90, respectivamente. El rotor 40 comprende un devanado de rotor 42 que comprende tres devanados 42 que están montados a 120° unos con respecto a otros y que pueden conectarse en una conexión en estrella o delta. De este modo, se puede inducir CA trifásica a los tres devanados 42 debido a un campo magnético de un estator (no se muestra). El dispositivo de control 60 está adaptado para
10 conectar el factor de alimentación y el deslizamiento variando la fase y/o magnitud/amplitud de la corriente del rotor.

Las Fig. 2a, b muestran un esquema de diseño de una realización de un motor eléctrico con las unidades de conmutación de rotor y estator que conectan devanados de rotor y estator en una configuración de estrella doble (Fig. 2a) y una configuración delta (Fig. 2b). Un rotor 40 comprende un devanado de rotor 42 que comprende/forma tres fases. El rotor 40 se combina con un dispositivo de control 60. El dispositivo de control 60 comprende una
15 unidad controladora 61 que está respaldada por una unidad de suministro de alimentación 72 y una unidad de almacenamiento de energía 74 que comprende al menos un condensador 76. El dispositivo de control 60 comprende una unidad de inversor de rotor 66 que comprende una pluralidad de transistores 68 y diodos 70. La unidad de inversor de rotor 66 está eléctricamente conectada al devanado de rotor 42 o a las fases adecuadas, respectivamente. Al menos dos fases del rotor 40 están provistas de un sensor de corriente 80. Además, el rotor 40
20 comprende un codificador de ángulo de rotor 78. La unidad controladora 61 o el dispositivo de control 60, respectivamente, están conectados a un dispositivo de control de rotor 82 mediante una unidad de comunicación 84. El dispositivo de control de rotor 82 está eléctricamente conectado a un estator 20 que comprende también tres fases en donde al menos dos fases comprenden un sensor de corriente 80. El dispositivo de control de rotor 82 está conectado a un sistema de CA trifásico.

25 La Fig. 3 muestra un gráfico que visualiza distintos métodos para hacer funcionar un motor eléctrico. Un bucle de control 62, preferentemente un bucle de control PI 62, y una unidad de inversor de rotor 64 están conectados al rotor 40. Procesan \vec{i}_{rotor} , \vec{i}_{estator} y Θ . Dos bucles de control 62, preferentemente dos bucles de control PI 62 están conectados a un estator 20.

30 Procesan \vec{i}_{rotor} , \vec{i}_{estator} , ω_{estator} , ω_{rotor} , ω_{eje} , τ y par ordenado o RPM de eje ordenadas, respectivamente. Con respecto a la Figura 3, se describen distintos modos de funcionamiento.

Operación de control orientada al campo - empleando sensores de corriente

Primera etapa: medición de corrientes del estator y rotor en dos fases utilizando cada una sensores de corriente 80.

35 Segunda etapa: cálculo de ángulos de flujo magnético de rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ (conociendo dos corrientes de fase de rotor medidas y dos corriente de fase de estator). El ángulo de flujo del rotor se determina agregando el ángulo de la posición física del rotor y el ángulo de flujo del rotor. La posición instantánea física del rotor se determina a partir del codificador de ángulo de posición 78 del rotor. También se conocen métodos sin

sensor para calcular el ángulo $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ a partir de la técnica anterior. Se sabe que el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y el estator influye en el desplazamiento de fase de corriente del estator (FEM de vuelta). El vector de flujo del rotor a su vez, también induce FEM en el estator 20. Esta FEM de vuelta crea un vector de corriente adicional en el estator que influye en el desplazamiento de fase completo en el estator. Midiendo esta influencia, existen métodos para calcular los valores del ángulo entre el flujo del rotor 40 y estator 20 a partir de valores medidos de corriente eléctrica del estator correspondientes, su desplazamiento de fase y velocidad angular. Se conoce exactamente el vector de corriente del rotor \vec{i}_{rotor} a partir de mediciones tomadas en el rotor 40 mismo, mientras que en la técnica anterior se calcula a partir de los efectos provocados en el estator lo cual resulta un método mucho más lento e impreciso.

10 Tercera etapa: Si el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ es inferior a 90° , entonces se realiza al menos una de las siguientes etapas:

- la unidad controladora de rotor 61 ordena a la unidad de inversor de rotor 64 reducir la velocidad angular ω_{rotor} de la corriente trifásica del rotor. Tal acción reducirá el deslizamiento, aumentará las RPM del eje (ω_{eje}) y llevará el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ más cerca de los 90° . Tal acción no es posible con motores de inducción de la técnica anterior;
- ordenar al dispositivo de control del rotor 82 aumentar la velocidad angular del estator ω_{estator} . Tal acción también aumentará las RPM o ω_{eje} ;
- ordenar al dispositivo de control del rotor 82 disminuir el coeficiente de utilización del estator. Tal acción mantendrá las RPM y disminuirá el par.

20 Si el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ es superior a 90° , entonces se realiza al menos una de las siguientes etapas:

- la unidad controladora de rotor 61 ordena a la unidad de inversor de rotor 66 aumentar la frecuencia de la corriente trifásica del rotor (ω_{estator}) para adelantar el vector de corriente del rotor. Tal acción aumentará el deslizamiento, disminuirá las RPM del eje (ω_{eje}) y llevará el ángulo entre los vectores de flujo del rotor y estator $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ más cerca de los 90° ; tal acción no es posible con los motores de inducción de la técnica anterior;
- ordenar al dispositivo de control de rotor 82 reducir la frecuencia del estator (ω_{estator}); tal acción también disminuirá las RPM del eje o ω_{eje} ;
- ordenar al dispositivo de control del rotor 82 aumentar el coeficiente de utilización del estator; tal acción aumentará el par;
- Si resulta necesario, repetir al menos una de las anteriores etapas.

Operación de control orientada al campo - empleando bucles de control PI

El control del motor se puede realizar utilizando bucles de control Proporcional-Integral (PI):

- En un primer bucle de control 62, el ángulo $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ se compara con 90° . Si $\Theta(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}}) < 90^\circ$ se suministra un mensaje de error al controlador PI 62 que disminuye de forma adecuada el ω_{rotor} . De otro modo, el controlador PI 62 aumenta de forma adecuada el motor ω_{rotor} .

En un segundo bucle de control 62, se calcula el par instantáneo a partir de los valores de las corrientes del rotor y estator y la suposición de que sus vectores se encuentran a 90° . El par instantáneo $\tau(\vec{i}_{\text{rotor}}, \vec{i}_{\text{estator}})$ se compara con el par ordenado y se suministra un mensaje de error al controlador PI 62. Si se necesita más par que el dispositivo de control de rotor 82 se ordena aumentar forma adecuada su coeficiente de utilización, que aumentará finalmente las corrientes del estator y rotor, reflejándose en un par superior.

En un tercer bucle de control 62, las RPM ordenadas se comparan con $\omega_{\text{estator}} - \omega_{\text{rotor}}$ que es la velocidad angular del eje - ω_{eje} real. Si la ω_{eje} medida es inferior a la ordenada, se ordena al dispositivo de control de estator 82 aumentar de forma adecuada la frecuencia del estator. De otro modo, se proporciona la ordena

opuesta.

La Fig. 4 muestra un método para calcular el ángulo de flujo magnético a partir de valores de dos corrientes conocidas que proceden de corriente trifásica.

$$I_0 \sin(\omega t) = A_t$$

$$I_0 \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) = B_t,$$

- 5 En donde A_t es valor de corriente instantánea en fase A y B_t es valor de corriente instantánea en fase B.

Si $\sin(\omega t) = A_t = 0$ y ángulo de corriente $\omega t = 0$.

Si $\sin(\omega t) \neq 0$, el ángulo de corriente puede calcularse del siguiente modo:

$$I_0 \sin(\omega t) = A_t \Rightarrow I_0 = \frac{A_t}{\sin(\omega t)}$$

$$I_0 \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) = B_t \Rightarrow I_0 \sin(\omega t) \cos\left(\frac{2}{3}\pi\right) + I_0 \cos(\omega t) \sin\left(\frac{2}{3}\pi\right) = B_t$$

Remplazar

$$\sin\left(\frac{2}{3}\pi\right) = \frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$\cos\left(\frac{2}{3}\pi\right) = -\frac{1}{2};$$

$$I_0 = \frac{A_t}{\sin(\omega t)}$$

$$A_t \frac{\sqrt{3} \cos(\omega t)}{2 \sin(\omega t)} - \frac{A_t}{2} = B_t \Rightarrow \cot(\omega t) = \frac{2B_t + A_t}{A_t \sqrt{3}}$$

$$\omega t = \cot^{-1} \left[\frac{2B_t + A_t}{A_t \sqrt{3}} \right]$$

10

Ángulo de vector de corriente momentánea

Números de referencia

20 estátor

ES 2 770 370 T3

	40	rotor
	42	devanado de rotor
	43	devanado de estátor
	60	dispositivo de control de rotor
5	61	unidad controladora de rotor
	62	bucle de control (PI), controlador (PI)
	66	unidad de inversor de rotor
	68	unidad de conmutación de rotor
	70	sensor de medición de potencial eléctrico
10	71	resistor conmutable
	72	unidad de suministro de alimentación
	74	unidad de almacenamiento de energía
	76	condensador
	78	codificador de ángulo de eje
15	80	sensor de corriente
	82	dispositivo de control de estátor
	83	unidad controladora de estátor
	85	unidad de inversor de estátor
	86	interfaz externa
20	87	unidad de conmutación de estátor
	84	unidad de comunicación
	85	unidad de inversor de estátor
	90	eje
	P	alimentación
25	I	corriente
	ϵ	FEM
	ω	velocidad angular
	ωt	ángulo de vector de corriente
	A_t	valor de corriente instantánea en fase A
30	B_t	valor de corriente instantánea en fase B

REIVINDICACIONES

1. Motor eléctrico doblemente alimentado,

5 que comprende un estátor (20), un rotor (40) y un dispositivo de control (60) que se dispone en el rotor (40), en donde el estátor (20) está adaptado para inducir fuerza electromotriz (FEM) en el rotor (40) durante su funcionamiento, y en donde el rotor (40) tiene no menos de tres devanados de rotor (42), en los cuales se puede inducir fuerza electromotriz (FEM), y que están eléctricamente conectados al dispositivo de control (60),

10 y en donde el estátor (20) tiene no menos de tres devanados de estátor (43),

y el dispositivo de control (60) está adaptado para variar el factor de alimentación basándose en y utilizando la fuerza electromotriz (FEM) inducida en el rotor, y para variar o ajustar al menos uno de:

 - corrientes eléctricas en los devanados de rotor (42),
 - y/o el ángulo del vector de flujo magnético del rotor,

15 **caracterizado por que** el dispositivo de control (60) está adaptado para variar la fase, frecuencia y/o la magnitud/amplitud de la corriente del rotor utilizando fuerza electromotriz (FEM) inducida al rotor de tal modo para conseguir un ángulo óptimo de 90° entre el vector de flujo magnético del rotor y el vector de fuerza magnetomotriz (FMM) del estátor.
2. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo de control (60) está adaptado para variar la frecuencia y/o la magnitud/amplitud de la corriente del rotor para adaptar el deslizamiento.
- 20 3. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo de control de rotor (60) comprende una unidad controladora de rotor (61), una unidad de inversor de rotor (66), una unidad de almacenamiento de energía (74), una unidad de comunicación (84) y/o una unidad de medición de potencial eléctrico.
- 25 4. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo de control de rotor (60) comprende un sensor de acelerómetro capaz de medir la aceleración tangencial y/o radial.
5. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con la reivindicación 3,

en donde la unidad controladora de rotor (61) es un dispositivo de control activo que comprende al menos un bucle de control PI (62).
- 30 6. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una unidad de conmutación (68) comprende una pluralidad de transistores y diodos.
7. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo de control (60) comprende una unidad de suministro de alimentación (72) adaptada para alimentar la unidad controladora de rotor (61) con CC.
- 35 8. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-7, en donde la unidad de almacenamiento de energía (74) está conectada a un resistor conmutable.
9. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende unidad de conmutación de rotor (68) adaptada para conectar eléctricamente los devanados de rotor (42) a la unidad de inversor de rotor (66) en una variedad de configuraciones alternativamente seleccionables.
- 40 10. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con la reivindicación 9, en donde la unidad de conmutación de rotor (68) está adaptada para cambiar un número de polos magnéticos del rotor (40).
11. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos un codificador de ángulo de posición, en donde el al menos un codificador de ángulo

de posición es un codificador de ángulo de posición de rotor (78).

12. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos un sensor de corriente (80),

5 en donde preferentemente al menos dos sensores de corriente (80) se sitúan en los devanados del rotor (40).

13. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un dispositivo de control de estátor (82) que está eléctricamente conectado al estátor (20), y

en donde el dispositivo de control de estátor (82) está preferentemente conectado al dispositivo de control de rotor (60) por medio de una unidad de comunicación (84).

10 14. Motor eléctrico doblemente alimentado de acuerdo con la reivindicación 13,

en donde el dispositivo de control de estátor (82) está adaptado para variar la frecuencia, fase y/o la magnitud/amplitud de la corriente o la tensión del estátor (40).

15 15. Método para hacer funcionar un motor eléctrico doblemente alimentado, que tiene un estátor (20) con no menos de tres devanados de estátor (43), un rotor (40) que comprende no menos de tres devanados de rotor (42), en los que se puede inducir fuerza electromotriz (FEM), y un dispositivo de control (60) que está dispuesto en el rotor (40), en donde los devanados de rotor (42) están eléctricamente conectados al dispositivo de control (60), en donde el dispositivo de control (60) varía el factor de alimentación basándose en y utilizando la fuerza electromotriz (FEM) inducida en el rotor, y varía o ajusta al menos uno de:

- corrientes eléctricas en los devanados de rotor (42),
- y/o el ángulo del vector de flujo magnético del rotor,

caracterizado por que el dispositivo de control (60) varía la fase, frecuencia y/o la magnitud/amplitud de la corriente del rotor utilizando fuerza electromotriz (FEM) inducida al rotor de tal modo para conseguir un ángulo óptimo de 90° entre el vector de flujo magnético del rotor y el vector de fuerza magnetomotriz (FMM) del estátor.

25 16. Método de acuerdo con la reivindicación 15, que comprende las etapas:

- utilizar fuerza electromotriz (FEM) inducida en los devanados de rotor (42) para almacenar energía eléctrica en la unidad de almacenamiento de energía (74, 76),
- utilizar energía almacenada en la unidad de almacenamiento de energía (74, 72) y el par necesario y/o RPM para modificar, ajustar la corriente eléctrica en los devanados de rotor (42),
- 30 - utilizar información enviada desde el dispositivo de control de rotor por medio de la unidad de comunicación (84) y par necesario y/o RPM para ajustar las corrientes eléctricas en los devanados de estátor,
- utilizar información que procede de sensores tales como sensores de corriente en los devanados de rotor, sensores de potencial eléctrico en la unidad de almacenamiento de energía, sensores de temperatura, codificadores de posición de eje o sensores de acelerómetro, así como par necesario y/o RPM para seleccionar y conmutar a un número de polos magnéticos adecuados en el rotor y estátor,
- 35 - generar fuerza electromotriz (FEM) en los devanados de rotor pulsando, no girando, el vector de fuerza magnetomotriz (FMM) del estátor.

Fig. 1

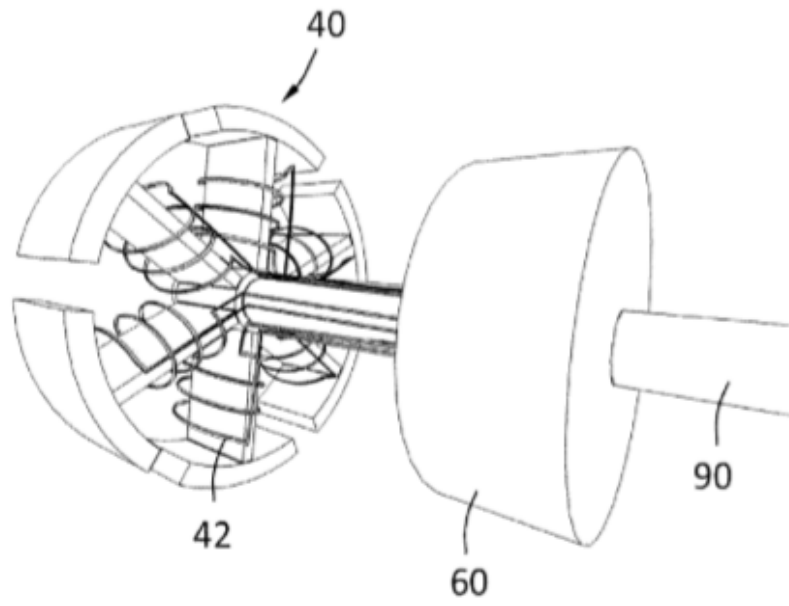
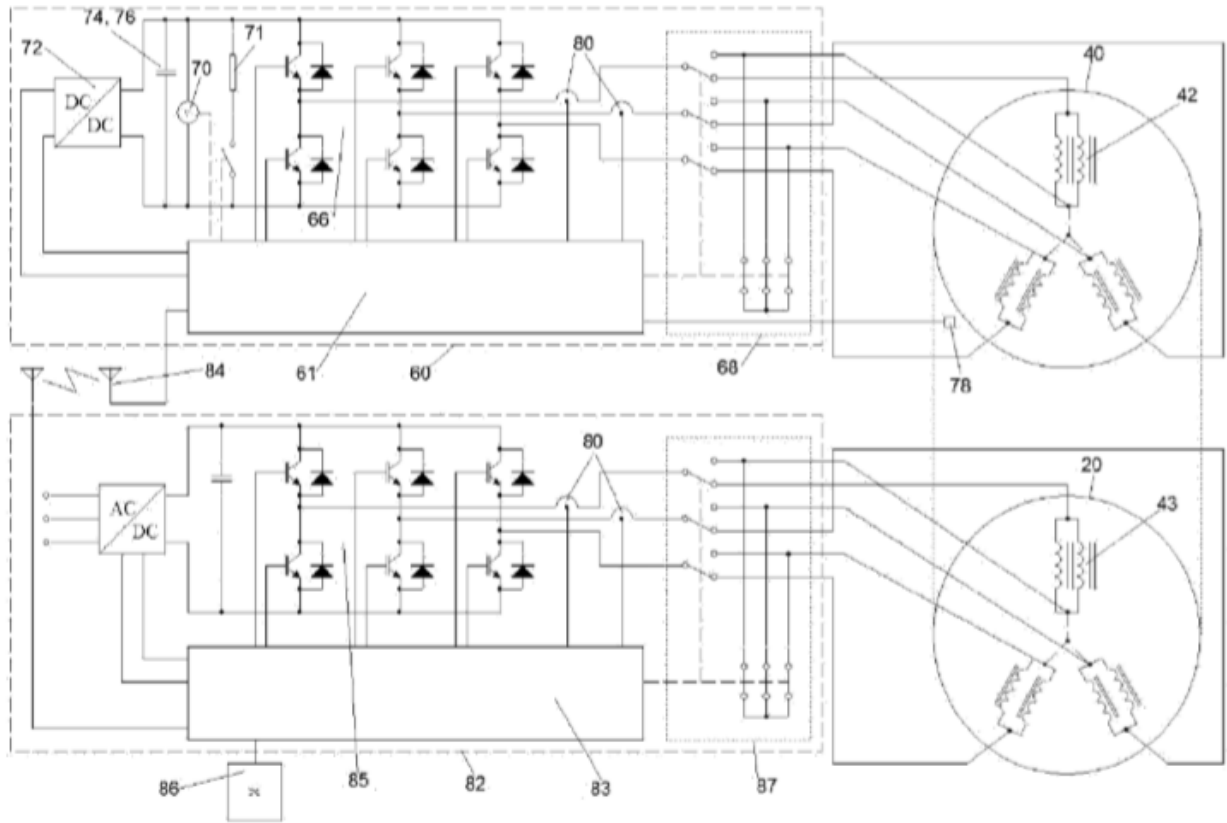
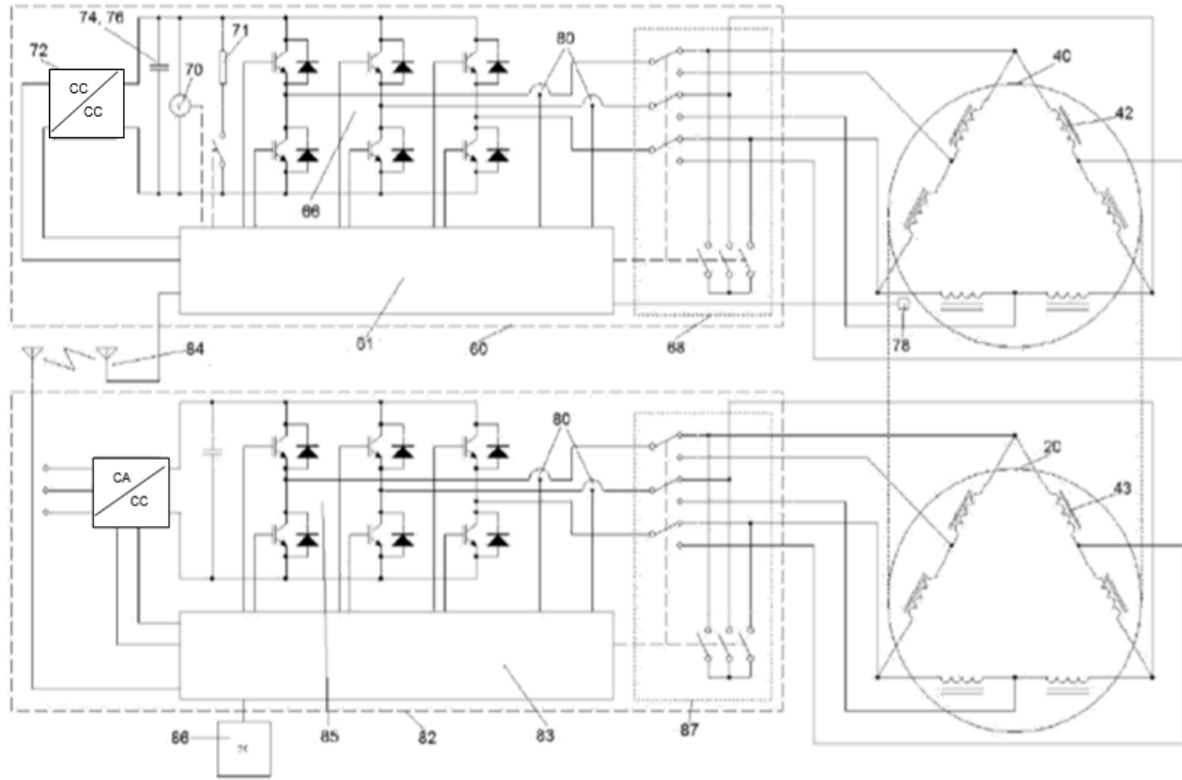


Fig. 2a



24

Fig. 2b



34

Fig. 3

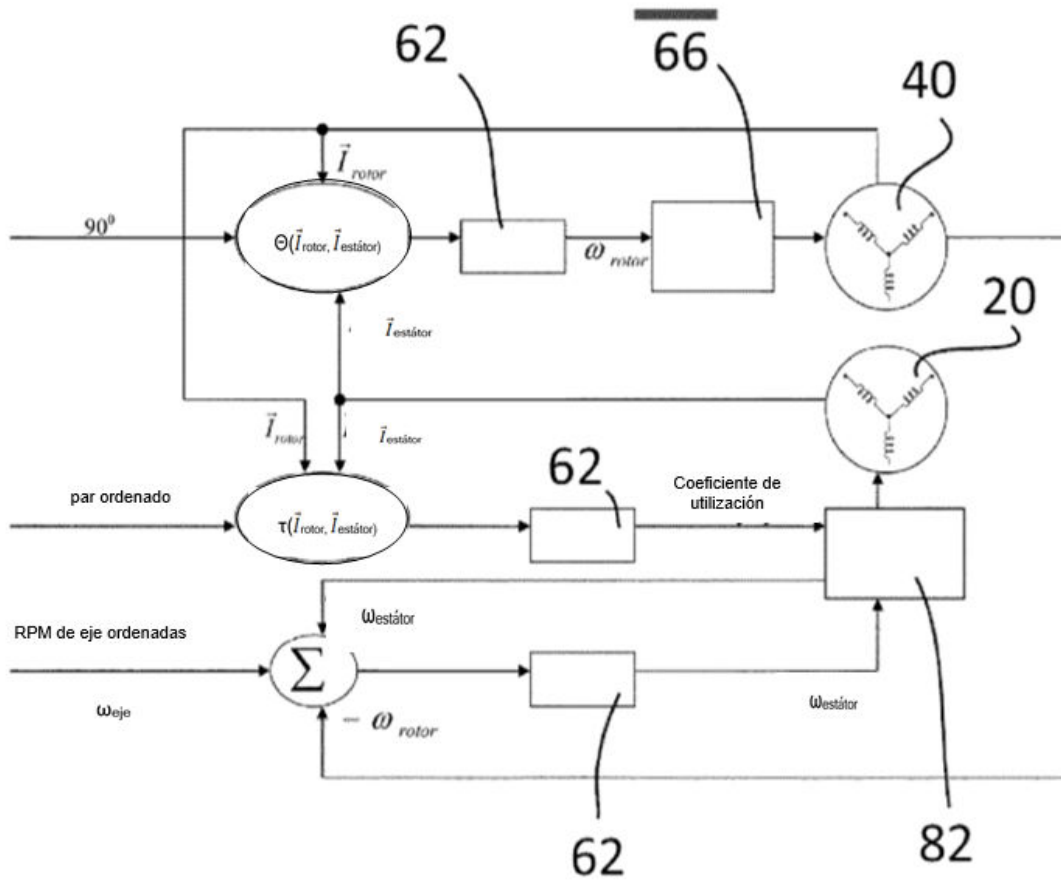


Fig. 4

