

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 409 004**

51 Int. Cl.:

H02P 21/14 (2006.01)

H02H 7/08 (2006.01)

H02P 23/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2010 E 10706359 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2013 EP 2392070**

54 Título: **Sistema y procedimiento para la determinación de la resistencia del arrollamiento del estator en un motor de corriente alterna que utiliza controladores de motor**

30 Prioridad:

30.01.2009 US 363413

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

24.06.2013

73 Titular/es:

**EATON CORPORATION (100.0%)
Eaton Center, 1111 Superior Avenue
Cleveland, Ohio 44114-2584, US**

72 Inventor/es:

**LU, BIN;
HABETLER, THOMAS, G. y
ZHANG, PINJIA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 409 004 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

Sistema y procedimiento para la determinación de la resistencia del arrollamiento del estator en un motor de corriente alterna que utiliza controladores de motor.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere de manera general a motores de inducción de corriente alterna (CA) y, más particularmente, a un sistema y procedimiento para determinar la resistencia del arrollamiento del estator de motores de corriente alterna mediante un controlador del motor, para protección térmica de los motores CA, mejorando el rendimiento de control del motor, y monitorizando el estado de los motores CA.

La utilización de controladores de motor en diferentes industrias ha resultado más prevalente recientemente basándose en la creciente necesidad de ahorrar energía y flexibilidad de control en el funcionamiento del motor. Basándose en estas necesidades, han resultado cada vez más importantes las mejoras en el control del motor. Un factor de mejora del rendimiento del control del motor es la exactitud de la estimación de los parámetros del motor, que es de gran importancia para el comportamiento general del control de los controladores del motor. Entre la serie y parámetros del motor que pueden ser estimados, tales como resistencias de estator y rotor, fugas de estator y rotor, inductancias, inductancia magnética, etc., la resistencia del estator es el parámetro más difícil de identificar a causa de su reducido valor unitario. No obstante, la exactitud de la estimación de la resistencia del estator es esencial para determinar de manera precisa una serie de parámetros relacionados con el motor. Por ejemplo, una estimación precisa de la resistencia del estator permite la estimación adicional del flujo rotor/estator, velocidad del rotor, par del intersticio de aire, pérdidas en el cobre del estator, y otros parámetros similares. La estimación precisa de resistencia del arrollamiento del estator es, por lo tanto, beneficiosa para los controles del motor y es utilizada ampliamente en la monitorización del estado del motor, diagnóstico y pronóstico de fallos, y evaluación de eficiencia instantánea.

Se hace referencia al documento KR20070048522 que da a conocer un sistema para determinar la resistencia del arrollamiento del estator en un motor CA utilizando controladores del motor.

Se presta mayor atención al documento US2003034793 que se refiere a un dispositivo y procedimiento para estimar la resistencia de un arrollamiento de estator en un motor de inducción CA. El dispositivo incluye un circuito de inducción CA que conecta una fase de motor de inducción CA a una fuente de tensión CA. El circuito comprende una resistencia y un conmutador conectados en paralelo. El conmutador es cerrado de manera alternativa durante los medios ciclos de la corriente CA suministrada al motor a efectos de inyectar un voltaje CC y corriente de polarización al motor CA. La resistencia del arrollamiento del estator es estimada como respuesta al voltaje CC y a la corriente de polarización.

Otra utilización conocida para la resistencia de arrollamiento del estator estimada es para la determinación de la temperatura del arrollamiento del estator, que se puede utilizar para la protección térmica del motor. La protección térmica es un aspecto importante en la monitorización de las condiciones del motor dado que la sollicitación térmica en el arrollamiento del estator se considera que es una de las razones principales de fallo del aislamiento del estator. Se supone habitualmente que la vida del motor se reduce en 50% para cada 10°C de aumento de la temperatura por encima del límite de temperatura del arrollamiento de estator aceptable. Por lo tanto, una monitorización precisa de la temperatura del arrollamiento del estator es beneficiosa para la protección del motor.

Se han propuesto varios procedimientos para la determinación de la temperatura del arrollamiento de estator para estimar las temperaturas de arrollamiento promedio a partir de las resistencias del arrollamiento del estator. A lo largo de los años, se han propuesto diferentes procedimientos de estimación de la resistencia del arrollamiento del estator para diferentes finalidades. De modo general, se dividen en tres categorías principales: procedimientos de medición directa, procedimientos basados en circuito equivalente, y procedimientos basados en inyección de señal. Los procedimientos directos, tales como la norma IEEE 118, facilitan las estimaciones de resistencia del estator más exactas pero tienen limitaciones e inconvenientes debido al hecho de que la resistencia se mide solamente a cierta temperatura y las variaciones de la resistencia debidas a los cambios de temperatura no se toman en consideración. Otro inconveniente de los procedimientos de medición directa es que el motor tiene que ser desconectado del servicio para llevar a cabo las pruebas necesarias.

Los procedimientos basados en circuito equivalente de estimación de R_s utilizan la corriente y voltaje del motor para calcular la resistencia del estator basándose en un circuito equivalente de motor CA (es decir, un modelo del motor CA). Estos procedimientos basados en un modelo no son intrusivos y pueden responder a cambios en las condiciones de refrigeración, pero en general son poco sensibles a variaciones de los parámetros del motor para proporcionar una estimación exacta de R_s , debido al hecho de que los parámetros del motor pueden variar bajo diferentes condiciones, tales como velocidad de funcionamiento, saturación magnética, etc., es decir, el error de estimación de los procedimientos basados en un modelo puede ser superior al 20%. La variación del parámetro térmico y la dificultad de identificación del parámetro térmico pueden conducir a otras inexactitudes en los procedimientos basados en un modelo.

Los procedimientos basados en la inyección de señal para determinar la resistencia del estator inyectan una corriente CC en el voltaje de alimentación del estator y utilizan el componente CC del voltaje y la corriente para calcular la resistencia del estator. En un procedimiento de inyección de señal CC, una resistencia en paralelo con un transistor es instalada en una fase del motor, lo que conduce a una resistencia equivalente en el motor de inducción que es distinta cuando la corriente de entrada es positiva y negativa, produciendo de esta manera una componente CC. Si bien este enfoque puede ser exacto y adecuado para las variaciones de las condiciones de refrigeración y a los parámetros del motor, adolece de su naturaleza intrusiva, dado que un circuito de inyección de señal CC extra necesita ser instalado en serie con uno de los conductores del motor. De manera adicional, debido a los límites de corriente de dispositivos semiconductores, los procedimientos anteriores basados en inyección de señal no pueden ser aplicados en general de manera directa a motores más allá de 100 hp.

Por lo tanto, sería deseable diseñar un procedimiento preciso, no intrusivo, para determinar la resistencia del arrollamiento del estator. Además, sería deseable utilizar un dispositivo existente para inyectar el componente CC para determinar la resistencia del estator y, de acuerdo con ello, estimar la temperatura del arrollamiento del estator.

De acuerdo con la presente invención, se da a conocer un sistema para estimar la resistencia de un arrollamiento de estator de motor CA, tal como se indica en la reivindicación 1, y un procedimiento para determinar la resistencia de un arrollamiento de estator en un motor CA, tal como se indica en la reivindicación 11. Se dan a conocer realizaciones preferentes de la invención en las reivindicaciones dependientes.

La presente invención da a conocer un sistema y procedimiento para la determinación de la resistencia del arrollamiento del estator de motores CA a través de un dispositivo de control del motor. La determinación de la resistencia de arrollamiento del estator facilita la protección térmica de motores CA, un mejor control del motor y la monitorización del estado de los motores de CA.

De acuerdo con un aspecto de la invención, un sistema para estimar la resistencia del arrollamiento del estator de un motor CA incluye un controlador de motor CA que tiene una entrada conectable a una fuente de CA y una salida conectable a un terminal de entrada de un motor CA. El controlador del motor CA comprende, además, un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) que tiene una serie de conmutadores para controlar el flujo de la corriente y voltajes de terminal en el motor CA y un sistema de control conectado al convertidor PWM. El sistema de control está configurado para generar una señal de instrucción para hacer que el convertidor PWM controle una salida del controlador del motor CA correspondiente a una entrada del motor CA, generando selectivamente una instrucción modificada para provocar que el convertidor PWM inyecte una señal CC en la salida del controlador de motor CA, y determine la resistencia de estator del motor CA basándose en la señal CC de, como mínimo, uno de dichos voltaje y corriente.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, un procedimiento para la determinación de la resistencia del arrollamiento de estator de un motor CA comprende la etapa de disponer un controlador de motor CA en serie entre una fuente de potencia CA y el motor CA, incluyendo el controlador del motor CA un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) para acondicionar el voltaje y la corriente al motor CA. El procedimiento incluye también la etapa de hacer funcionar selectivamente el controlador del motor CA en modalidad estándar y una modalidad de inyección de CC, de manera que el funcionamiento del controlador del motor CA en la modalidad de inyección CC incluye las etapas de añadir una instrucción CC a, como mínimo, una de una instrucción de voltaje CA y una instrucción de corriente CA para formar una instrucción combinada, generando un modelo de conmutación para el convertidor PWM basándose en la instrucción combinada, y haciendo funcionar el convertidor PWM de acuerdo con el modelo de conmutación para introducir una señal CC en el voltaje y corriente del motor CA. El funcionamiento del controlador del motor CA es la modalidad de inyección CC incluye además las etapas de medición de la señal CC en, como mínimo, uno de dichos voltajes y corriente facilitados al motor CA y determinando la resistencia del arrollamiento del estator basándose en la señal CC medida.

De acuerdo con otro aspecto de la invención se da a conocer, un controlador de motor CA configurado para controlar la transmisión de voltaje y corriente desde la fuente de potencia CA a un motor CA que tiene un arrollamiento del estator. El controlador del motor CA incluye un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) para acondicionar el voltaje de línea y la corriente de fase de un motor CA al motor de inducción, comprendiendo el convertidor PWM una serie de conmutadores, y estando configurado para funcionar de acuerdo con un esquema de control de modulación del vector de espacio (SVM) para controlar la pluralidad de conmutadores. El controlador de motor CA incluye también un sistema de control configurado para modificar selectivamente el esquema de control SVM para que el convertidor PWM inyecte una señal CC en el voltaje de línea y corriente de fase del motor CA y para determinar la resistencia del arrollamiento del estator basándose en la señal CC.

Otros detalles, características y ventajas de la presente invención quedarán evidentes de la siguiente descripción detallada y dibujos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los dibujos muestran realizaciones preferentes que se prevén actualmente para llevar a cabo la invención.

5 En los dibujos:

La figura 1 es un diagrama esquemático de un controlador de un motor CA, de acuerdo con un aspecto de la invención.

10 La figura 2 es una representación esquemática de un dispositivo de control de bucle cerrado para inyección CC para el controlador de motor de la figura 1, de acuerdo con una realización de la invención.

15 La figura 3 es una representación esquemática de un esquema de control de bucle cerrado orientado a campo para inyección CC para el controlador de motor de la figura 1, de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 4 es un esquema de una instrucción CC inyectada en un vector de control de un esquema de control de modulación de vector de espacio (SVM) para comprobar la conmutación en un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM), de acuerdo con una realización de la invención.

20 La figura 5 es un gráfico de una corriente de estator generada con y sin un componente CC inyectado para el esquema de control de bucle cerrado de las figuras 2 y 3.

La figura 6 es una vista esquemática de un esquema de control en bucle abierto para la inyección de CC para el controlador de motor de la figura 1, de acuerdo con una realización de la invención.

25 La figura 7 es un gráfico de una corriente de estator generada con y sin un componente CC inyectada para el esquema de control en bucle abierto de la figura 6.

30 La figura 8 es una vista esquemática de un circuito equivalente CC del sistema de motor CA de la figura 1 cuando funciona en modalidad inyección CC.

La figura 9 es un diagrama de flujo que muestra una técnica para estimar la temperatura del arrollamiento del estator, de acuerdo con una realización de la invención.

35 La figura 10 es un diagrama de flujo que muestra una técnica para la estimación de la temperatura del arrollamiento del estator en un esquema de control en bucle abierto del controlador de motor, de acuerdo con una realización de la invención.

40 La figura 11 es un esquema de bloques de un controlador configurado para generar una instrucción CC para transmisión a un controlador de motor, de acuerdo con una realización de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA REALIZACIÓN PREFERENTE

45 Las realizaciones de la invención que se explica se refieren a un sistema y procedimiento para la estimación remota de la resistencia del arrollamiento del estator para protección térmica de motores de inducción. Un controlador de motor CA es controlado para inyectar una señal CC en el voltaje de línea y corriente de fase de un motor CA para el motor de inducción. Un voltaje de referencia y/o instrucción de corriente de referencia generados por un sistema de control en el controlador del motor CA es modificado para incluir una instrucción CC, modificando de esta manera un esquema de control para un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) en el controlador del motor CA para inyectar la señal CC en el voltaje de línea y corriente de fase del motor CA. Esta señal CC es analizada para determinar una resistencia de arrollamiento del estator.

50 Las realizaciones de la invención están dirigidas a controladores para motor CA que comprenden una serie de estructuras y esquemas de control. La estructura general de un controlador 10 para un motor CA se ha mostrado en la figura 1. El controlador 10 para un motor puede estar configurado, por ejemplo, como controlador de velocidad ajustable (ASD), diseñado para recibir una entrada trifásica de potencia CA, rectificar la entrada de CA, y llevar a cabo una conversión CC/CA del segmento rectificado en un voltaje alternativo trifásico de frecuencia y amplitud variables que es suministrado a una carga. En una realización preferente, el ASD funciona de acuerdo con una característica a título de ejemplo de voltios por hercio. A este respecto, el controlador del motor proporciona 60 regulación de voltaje de $\pm 1\%$ en estado permanente con menos de 3% de distorsión total de armónicos, $\pm 0,1$ Hz en frecuencia de salida, y respuesta dinámica rápida de carga sobre un rango completo de carga.

65 En una realización a título de ejemplo, una alimentación trifásica CA 12a-12c es alimentada a un puente rectificador trifásico 14. Las impedancias de línea de entrada son iguales en las tres fases. El puente rectificador 14 convierte la potencia en CA de entrada en potencia CC, de manera que un bus de voltaje CC se encuentra presente entre el puente rectificador 14 y un conjunto conmutador 16. El voltaje de bus es alisado por una batería 18 de

condensadores del bus CC. El conjunto de conmutadores 16 está formado por una serie de conmutadores IGBT 20 y diodos antiparalelos 22 que colectivamente forman un inversor PWM 24. El inversor PWM 24 sintetiza formas de onda de voltajes CA con una frecuencia y amplitud fijas para suministro a una carga, tal como un motor de inducción 26. El funcionamiento del inversor 24 tiene lugar con intermedio de un sistema de control 28, que puede estar
 5 constituido además a base de una serie de controladores PID, cada uno de los cuales tiene una capa de sistema y una capa de aplicación programable que llevan a cabo operaciones a alta velocidad, tales como modulación de espacio-vector, desacoplamiento de voltaje bus CC y protección, por ejemplo. El sistema de control 28 actúa como interfaz con respecto al inversor PWM 24 con intermedio de señales de control de puerta y detección del voltaje bus CC, y corrientes polares (por ejemplo, mediante un sensor de voltaje 34), de manera que los cambios en el voltaje
 10 de bus CC pueden ser detectados. Estos cambios de voltaje pueden ser interpretados como condiciones de carga transitoria, y son utilizados para controlar la conmutación del conjunto de conmutación 16 del inversor PWM 24, de manera que se mantengan las condiciones de carga de casi estado permanente.

Las realizaciones de la invención se describen a continuación para el control en bucle cerrado y bucle abierto del
 15 controlador 10 del motor. Haciendo referencia, en primer lugar, a la figura 2, se ha mostrado un esquema general en bucle cerrado 30 de control de motor para el controlador 10 de motor, de acuerdo con una realización de la invención. En una realización a título de ejemplo para el esquema en bucle cerrado, el sistema de control 28 del controlador del motor 10 incluye un controlador de velocidad 32 que genera el flujo deseado λ^* y una instrucción de par T^* basadas en una instrucción de velocidad ω^* recibida desde un dispositivo de entrada (no mostrado) y una
 20 velocidad de rotor ω medida o estimada. Un dispositivo 34 de estimación de flujo/par está también incluido en el sistema de control 28 del controlador 10 del motor y estima el flujo λ y el par T del motor de inducción 26 utilizando voltajes trifásicos medidos V_{abc} y corrientes I_{abc} . La instrucción de flujo deseada λ^* y de par T^* y el flujo λ y el par T estimados del motor de inducción 26 son enviados por el controlador de velocidad 32 y el dispositivo de estimación de flujo/par 34, respectivamente, a un controlador 36 de flujo/par, que genera una instrucción I_{abc}^* de corriente de estator basada en λ y T estimadas, la instrucción de flujo λ^* , y la instrucción de par T^* . Un controlador de corriente
 25 38 recibe la instrucción de corriente de estator I_{abc}^* junto con una corriente de estator medida I_{abc} para generar una instrucción de voltaje de estator V_{abc}^* . La instrucción de voltaje de estator V_{abc}^* es enviada a un generador 40 de señal de conmutación que, basándose en la instrucción de voltaje de estator V_{abc}^* , genera una serie de señales de conmutación (es decir, un modelo de conmutación) para controlar la conmutación del conjunto de conmutadores en el convertir PWM 24. Basándose en el modelo de conmutación generado por el generador 40 de señal de conmutación, el inversor 24 de PWM sintetiza formas de onda de voltaje CA con una frecuencia y amplitud fijas para
 30 suministro a motor de inducción 26.

También se incluye en el sistema de control 28 del controlador de motor 10 se encuentra un dispositivo controlador
 35 42. De acuerdo con una realización de la invención, el dispositivo controlador 42 está configurado para generar selectivamente una señal de instrucción de corriente CC para transmisión al controlador de flujo/par 36. La generación selectiva de la señal de instrucción de corriente CC por el controlador 42 permite que el controlador de motor 10 alterne entre el funcionamiento en modalidad estándar y en modalidad de inyección CC. Durante el funcionamiento estándar del controlador 10 del motor CA, el dispositivo controlador 42 se encuentra en estado
 40 desactivado, de manera que no se genera señal de instrucción CC. Por lo tanto, la modalidad estándar es considerada la modalidad "normal" de funcionamiento para el controlador 10 de motor CA. El dispositivo controlador 42 está configurado/programado, además, para hacer funcionar selectivamente el controlador de motor 10 en la modalidad de inyección CC para inyectar una señal o componente CC en el voltaje de línea y corriente fase del motor. Durante la modalidad de inyección CC, el dispositivo controlador 42 funciona para generar una instrucción CC
 45 en forma de una instrucción de corriente CC, que es transmitida al controlador de flujo/par 36. Es decir, haciendo referencia a la figura 2, para un controlador de motor en bucle cerrado con control de corriente y alimentación de voltaje, la instrucción CC es introducida o añadida al controlador de flujo/par 36 para modificar la instrucción de corriente I_{abc}^* .

50 Cuando una instrucción de corriente CC es generada y añadida por el dispositivo controlador 42 al controlador 36 de flujo/par, el controlador 36 de flujo/par genera una instrucción de corriente modificada I_{abc}' (es decir, instrucción de corriente combinada) que se describe del modo siguiente:

$$i_{abc}' = i_{abc}^* + i_{abc}^{dc} \quad [\text{Ecu. 1}],$$

55 en la que i_{abc}' es la nueva instrucción de corriente, habiendo inyectado la instrucción de corriente en CC, i_{abc}^{dc} es la instrucción de corriente CC que se ha indicado, y i_{abc}^* es la instrucción de corriente generada por el controlador de par/flujo 36. Como respuesta a la instrucción de corriente modificada i_{abc}' generada por el controlador de flujo/par 36, el controlador de corriente 38 genera una instrucción de voltaje modificado V_{abc}' como respuesta a la misma.

60 Basándose en la instrucción de corriente CC i_{abc}^{dc} generada/añadida por el controlador 42, una instrucción i_{abc}' de corriente modificada y la resultante instrucción V_{abc}' de voltaje modificado son generadas por el sistema de control 28. La instrucción de voltaje modificado resultante V_{abc}' provoca una modificación en el modelo de conmutación generado por el generador 40 de señal de conmutación. Es decir, el modelo de conmutación generado por el

generador 40 de señal de conmutación para el control del convertidor PWM 24 cuando se añade una instrucción de corriente en CC i_{abc}^{dc} por el controlador 42 (formando una instrucción de voltaje modificado resultante V_{abc}'), se modifica en comparación con el modelo de conmutación generado por el generador 40 de señal de conmutación durante el funcionamiento estándar del controlador de motor 10. En la modalidad estándar, el modelo de conmutación generado por el generador 40 de señal de conmutación controla el convertidor PWM 24 generando un voltaje de línea y corriente de fase controlado para el motor CA. En la modalidad de inyección CC, el modelo de conmutación modificado generado por el generador 40 de señal de conmutación controla el convertidor PWM 24 inyectando una señal/componente CC en el voltaje de línea y corriente de fase CA, del motor de inducción 26. La frecuencia y/o temporización de la conmutación en el convertidor PWM 24 está controlada de acuerdo con el modelo de conmutación modificado, provocando una alternación o distorsión (es decir, un cambio en la corriente de fase y una entalladura en el voltaje de línea) en, como mínimo, una de las fases del motor CA 26, lo que genera o inyecta un componente CC en los voltajes de línea y corrientes de fase del motor. Estos componentes CC se pueden medir y determinar para cada periodo de modalidad de inyección CC por sensores de voltaje y/o corriente 44 incluidos en el controlador de motor 10.

En el esquema de control en bucle cerrado antes descrito, se observará que el efecto de la señal CC inyectada en el control de velocidad debe ser eliminado. De acuerdo con ello, la velocidad de motor es muestreada a una frecuencia baja de muestreo con un filtro de paso bajo (no mostrado), de manera que se puede eliminar la oscilación de la velocidad por el filtro de paso bajo. El efecto de la señal CC inyectada en el dispositivo de estimación de flujo/par 34 se debe eliminar también para evitar inestabilidad, eliminando el componente CC de los voltajes y corrientes trifásicos del estator alimentados al dispositivo estimador 34 de flujo/par.

También se reconoce que el procedimiento de control en el sistema de control 28 y el procedimiento de estimación de flujo/par puede variar para diferentes tipos de control en bucle cerrado del motor CA. Asimismo, para diferentes procedimientos de control en bucle cerrado, el flujo estimado puede ser el flujo del estator, el flujo del rotor, y el flujo de enlace; los voltajes y corrientes trifásicos también pueden ser designados utilizando diferentes tipos de transformaciones en diferentes esquemas de referencia, tales como esquema de referencia síncrono, esquema de referencia del rotor, esquema de referencia estacionario, etc. El voltaje medido del estator V_{abc} puede ser también sustituido por la instrucción V_{abc}^* de voltaje del estator suponiendo el carácter ideal del convertidor, o se puede calcular utilizando las señales de conmutación y el voltaje del bus CC en el convertidor PWM 24.

Haciendo referencia a continuación a la figura 3, se ha mostrado, de acuerdo con una realización de la invención, un esquema de control en bucle cerrado a título de ejemplo para el controlador de motor 10, un esquema de control orientado a campo 46, en el esquema 46 de control orientado a campo, las corrientes y voltajes del estator en el esquema de referencia síncrono (esquema d-q) se indican i_q , i_d , v_q , v_d y las corrientes y voltajes en el esquema de referencia estacionario (esquema α - β) son indicados como i_α , i_β , v_α , v_β . El esquema de referencia síncrono utilizado en este caso, es alineado con el flujo del rotor con el ángulo θ .

Tal como se ha mostrado en la figura 3, un dispositivo de estimación de flujo 48 en el controlador de motor 10 estima el flujo del rotor utilizando las corrientes y voltajes trifásicos medidos i_{abc} , v_{abc} . Basándose en el flujo del rotor y en la velocidad del motor estimados, el dispositivo controlador de velocidad 50 y el dispositivo controlador de flujo 52 funcionan generando instrucciones de corriente del estator i_q^* e i_d^* , que son conocidas también respectivamente, como instrucción de par e instrucción de velocidad. El controlador de corriente 38 genera entonces la instrucción de voltaje V_{dq}^* basada en la instrucción de corriente del estator i_q^* e i_d^* y la corriente de estator medida. Después de la transformación del esquema de referencia en el transformador 56, la instrucción de voltaje transformada $V_{\alpha\beta}$ es recibida conmutando el generador de señal 40, que genera las señales de conmutación para el convertidor PWM 24 basándose en la instrucción de voltaje del estator.

El controlador 42 está configurado para generar selectivamente una señal de instrucción de corriente CC introducir la señal de instrucción de corriente CC en las instrucciones de corriente en el bucle de control. De acuerdo con una realización del esquema de control orientado a campo del controlador de motor 10, se introduce una instrucción CC en la instrucción de corriente del bucle de control (por ejemplo i_q^* e i_d^*). En el eje d-q, las instrucciones de corriente actualizadas son:

$$\begin{aligned} i_q^{**} &= i_q^* - i_{dc} \times \sin(\theta) \\ i_d^{**} &= i_d^* + i_{dc} \times \cos(\theta) \end{aligned} \quad [\text{Ecu. 2}],$$

en la que i_q^* e i_d^* son las instrucciones anteriores de corriente del eje q-d; i_q^{**} e i_d^{**} son las instrucciones de corriente modificadas del eje q-d con inyección de señal CC; y i_{dc} es la magnitud de la señal CC inyectada. Tal como se ha aplicado en el eje α - β , las instrucciones de corriente utilizadas son:

$$\begin{aligned} i_{\alpha}^{**} &= i_{\alpha}^{*} + i_{dc} \\ i_{\beta}^{**} &= i_{\beta}^{*} \end{aligned} \quad [\text{Ecu. 3}],$$

en la que i_{α}^{*} e i_{β}^{*} las instrucciones de corriente anteriores del eje α - β ; i_{α}^{**} e i_{β}^{**} son las instrucciones de corriente del eje α - β modificadas con inyección de señal CC, y i_{dc} es la magnitud de la señal CC inyectada.

La instrucción de corriente modificada resultante i_{q}^{**} e i_{d}^{**} (o i_{α}^{**} e i_{β}^{**}) provoca un cambio en la instrucción de voltaje (de V_{dq}^{*} a V_{dq}^{**}) generada por el controlador de corriente 38, provocando de esta manera adicionalmente una modificación el modelo de conmutación generado por el generador 40 de señal de conmutación. De acuerdo con el esquema de control 46 orientado a campo del controlador de motor 10, el generador 40 de señal de conmutación modifica un esquema de instrucción de vector de modulación en el espacio (SVM) "estándar", o modelo de conmutación como respuesta a la instrucción de corriente modificada (e instrucción de voltaje modificada resultante). Tal como se ha mostrado en la figura 4, en vez de utilizar un esquema de instrucción de espacio normal de 6 vectores para el convertidor PWM, se añade un componente adicional CC 58 en el vector de referencia 60. En este control de vector de espacio modificado se ha añadido un componente adicional V_s 60 en el eje q al vector de referencia original V_a . Por ejemplo, si $V_a = V_q + jV_d$ es el vector de referencia, el vector modificado sería $V_a^{*} = (V_q + V_s) + jV_d$. En una realización a título de ejemplo, la magnitud de V_s añadida, debe ser ajustable entre 0 y 5 voltios.

El control del vector de espacio modificado genera un modelo de conmutación modificado para controlar el convertidor PWM 24 para inyectar una señal/componente CC en el voltaje de línea y la corriente de fase de motor CA para el motor 26. La frecuencia y/o temporización de conmutación en el convertidor PWM 24 están controlados de acuerdo con el control del vector de espacio modificado para provocar una alteración o distorsión (es decir, un desplazamiento en la corriente de fase y una entalla en el voltaje de línea) de, como mínimo, una de las fases del motor CA, que genera o inyecta un componente CC 58 en los voltajes de línea y/o corrientes de fase del motor, tal como se ha mostrado en la figura 5. Estos componentes CC pueden ser medidos y determinados para cada periodo de modalidad de inyección CC por sensores de voltaje y/o de corriente 44 incluidos en el controlador 10 del motor para determinar la resistencia en los arrollamientos del estator, tal como se explica más adelante de forma detallada.

De acuerdo con otra realización de la invención, el controlador 10 del motor es accionado de acuerdo con un esquema de control de bucle abierto. Haciendo referencia a continuación a la figura 6, se ha mostrado un esquema 60 de control en bucle abierto para el controlador 10 del motor CA, de acuerdo con una realización a título de ejemplo es un esquema de control escalar de bucle abierto. De acuerdo con el esquema 60 de control de bucle abierto, el sistema de control 28 del controlador de motor 10 está configurado para recibir una instrucción de velocidad (o de frecuencia) a partir de un dispositivo de entrada (no mostrado) a efectos de generar una instrucción de magnitud de voltaje V_1 . La instrucción de magnitud de voltaje V_1 es facilitada por una función $K(\omega)$ del control de velocidad, a la que se hace referencia típicamente como curva V/Hz. Un voltaje de amplificación V_0 , utilizado para accionar el motor 26 en condiciones de baja velocidad, se combina con la intrusión de magnitud de voltaje V_1 para producir una magnitud de voltaje V^{*} .

La magnitud de voltaje V^{*} y la instrucción de velocidad ω^{*} son transmitidas a continuación a un controlador de voltaje 62 y son utilizados para generar una instrucción de voltaje trifásico V_{abc}^{*} , que se puede representar de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} V_a &= V \sin(\omega t) \\ V_b &= V \sin(\omega t - 2/3\pi) \\ V_c &= V \sin(\omega t + 2/3\pi) \end{aligned} \quad [\text{Ecu. 4}].$$

La instrucción de voltaje trifásico V_{abc}^{*} es facilitada por el controlador de voltaje 62 basado en instrucciones de velocidad o frecuencia. La instrucción V_{abc}^{*} de voltaje de estator es utilizada para controlar la conmutación de un conjunto de conmutadores en el convertidor PWM 24. Basándose en un modelo de conmutación de los conmutadores, tal como se ha determinado por la instrucción de voltaje del estator V_{abc}^{*} , el convertidor PWM 24 sintetiza formas de onda de voltaje CA con una frecuencia y amplitud fijas para suministro al motor de inducción 26.

Tal como se muestra de forma adicional de la figura 6, el controlador 42 está configurado para generar selectivamente una señal V_{abc}^{dc} de instrucción de voltaje CC para transmisión al controlador de voltaje 62, para conmutar el funcionamiento del controlador de motor 10 de una modalidad estándar a modalidad de inyección CC. Después de la adición de la señal V_{abc}^{dc} de instrucción de voltaje CC por el controlador 42, la instrucción de voltaje modificado V_{abc}^{*} generada por el controlador de voltaje, descrito para cada fase, es:

$$\begin{aligned} V_{bs}' &= V_{bs} - 1/3 * V_{dc} \\ V_{cs}' &= V_{cs} - 1/3 * V_{dc} \end{aligned} \quad [\text{Ecu. 5}],$$

5 en las que V_{as} , V_{bs} , V_{cs} son la instrucción de voltaje previa sin la polarización CC de la fase A, B, y C respectivamente, V_{as}' , V_{bs}' , V_{cs}' son la nueva instrucción de voltaje con la polarización CC de la fase A, B, y C respectivamente, y V_{dc} es la polarización CC inyectada.

10 De manera alternativa, la instrucción de voltaje modificado V_{abc}' generado por el controlador de voltaje se puede describir también con respecto al marco de referencia q-d como:

$$\begin{aligned} V_q' &= V_q + V_{dc} \\ V_d' &= V_d \end{aligned} \quad [\text{Ecu. 6}],$$

15 en las que V_q , V_d son la instrucción de voltaje previa sin polarización CC en el marco de referencia estacionario q-d; V_q' , V_d' son la nueva instrucción de voltaje con la polarización CC en el marco de referencia estacionario q-d; V_{dc} es la polarización de CC inyectada.

20 Basándose en la señal V_{abc}^{dc} de instrucción de voltaje CC generada/añadida por el controlador 42, se genera por el sistema de control 28 una instrucción de voltaje modificado V_{abc}' , tal como se ha indicado en la ecuación 5. La instrucción de voltaje modificado provoca una modificación en el módulo de conmutación de los conmutadores del convertidor PWM 24 que inyecta una señal/componente CC en la línea de voltaje y corriente de fase del motor CA para el motor 26. De acuerdo con una realización a título de ejemplo de la invención, el modelo de conmutación modificado es generado mediante un esquema de control modificado SVM mostrado en la figura 4, en el que se añade una instrucción al componente adicional CC en un vector de referencia del esquema de control SVM. La frecuencia y/o temporización de conmutación del convertidor PWM son controlados de acuerdo con el modelo de conmutación modificado para provocar una alteración o distorsión (es decir, un desplazamiento en la corriente de fase 63 y una escotadura en el voltaje de línea, tal como se ha mostrado en la figura 7) de, como mínimo, una de las fases del motor CA, que genera o inyecta un componente CC en los voltajes de línea y corrientes de fase del motor. Estos componentes CC se pueden medir y determinar para cada modalidad de inyección CC por sensores de voltaje y/o corriente 44 (figura 6) incluidos en el controlador 10 del motor.

30 Haciendo referencia a continuación a la figura 8, se ha mostrado un modelo CC equivalente al motor CA 26 con controlador de motor 10, después de la inyección de componentes CC, con intermedio de esquema de control de bucle cerrado o de bucle abierto. Dado que los componentes CC inyectados en los voltajes y corrientes de entrada no "atravesan" el intersticio de aire del motor CA (es decir, el intersticio de aire rotor/estator), no tienen impacto en el circuito del rotor del motor CA 10. Con la señal CC inyectada en una de las corrientes trifásicas del estator, por ejemplo i_a , la resistencia R_s , y del estator puede ser estimada a partir de los componentes CC de los voltajes terminales y corrientes del estator según:

$$R_s = \frac{2 \cdot v_{ab}^{dc}}{3 \cdot i_a^{dc}} \quad [\text{Ecu. 7}],$$

40 en la que v_{ab}^{dc} e i_a^{dc} son, respectivamente, los componentes CC del voltaje de línea del motor V_{ab} y corriente de fase i_a . Si bien la ecuación 7 muestra que la corriente de fase es medida para la fase a, y que el voltaje línea a línea es medido entre fases a y b, también se prevé que la corriente de fase podría ser medida para una fase diferente y que el voltaje línea a línea se podría medir entre una fase a y una fase distinta. Es decir, los componentes CC del voltaje de línea y corriente de fase del motor se encuentran presentes en todas las fases del motor CA.

45 Basado en el R_s estimado a partir de la inyección de señal CC, la temperatura T_s del arrollamiento del estator del motor 26 puede ser monitorizada. La variación R_s es linealmente proporcional a la variación T_s , del modo siguiente:

$$\hat{T}_s = T_{s0} + \frac{(\hat{R}_s - R_{s0})}{\alpha R_{s0}} \quad [\text{Ecu. 8}],$$

en la que T_{s0} y R_{s0} representan T_s y R_s a temperatura ambiente; \hat{T}_s y \hat{R}_s son los \hat{T}_s y R_s estimados a partir de la inyección de señal CC; y α es el coeficiente de temperatura de la resistividad.

Una vez determinados los componentes CC de voltaje y corriente v_{ab}^{dc} e i_a^{dc} , la resistencia R_s del estator se puede estimar de acuerdo con la ecuación 7 y, de acuerdo con ello, la temperatura T_s del arrollamiento del estator se puede monitorizar basándose en R_s determinado, de acuerdo con la ecuación 8 en tiempo real, mientras que el motor CA se encuentra en funcionamiento. En una realización de la invención, el controlador 42 está configurado para generar un aviso (por ejemplo, audible o visual) si la temperatura del arrollamiento del estator supera un valor de umbral predeterminado. El aviso permite que un operador adopte la acción deseada, tal como parar el motor CA 26.

De acuerdo con otra realización de la invención, se reconoce que la temperatura del arrollamiento de estator puede ser estimada utilizando solamente mediciones de corriente para controladores CA de bucle abierto, tal como se ha mostrado en la figura 6. En condiciones de estado permanente (carga constante e instrucción de voltaje CC constante), suponiendo que el voltaje CC realmente inyectado es constante, la proporción de la corriente CC se puede deducir del modo siguiente:

$$\frac{I_{dc}}{I_{dc0}} = \frac{V_{dc} / (R_s + R_{cable} + R_{controlador})}{V_{dc} / (R_{s0} + R_{cable} + R_{controlador})} = \frac{R_{s0} + R_{cable} + R_{controlador}}{R_s + R_{cable} + R_{controlador}} \quad [\text{Ecu. 9}],$$

en la que I_{dc} y I_{dc0} es la corriente CC medida cuando la resistencia del estator es R_s y R_{s0} , respectivamente.

En el caso de variación de carga (es decir, condiciones de estado no permanente), suponiendo que el cambio de temperatura del arrollamiento de estator antes y después de la variación de carga se pueden despreciar, la corriente I_{dc0} en CC de referencia se puede reescalar como,

$$I'_{dc0} = \frac{I_{dc, \text{después}}}{I_{dc, \text{antes}}} I_{dc0} \quad [\text{Ecu. 10}],$$

en la que $I_{dc, \text{antes}}$ y $I_{dc, \text{después}}$ son la corriente CC medida antes y después de la variación de carga, respectivamente; I'_{dc0} es el nuevo punto de referencia reescalado después de la variación de carga; I_{dc0} es el punto de referencia previo. Con el punto de referencia reescalado, se pueden mantener sin cambios las fórmulas actualizadas.

Basándose en la determinación anterior de la proporción de corriente CC (para cargas de estado permanente o no permanente), la temperatura del arrollamiento de estator puede ser estimada. Inicialmente, la resistencia del estator fue representada del modo siguiente:

$$R_s = I_{dc0} (R_{cable} + R_{controlador} + R_{s0}) / I_{dc} - R_{cable} - R_{controlador} \quad [\text{Ecu. 11}].$$

T_s se puede estimar, nuevamente, del modo siguiente, como,

$$\hat{T}_s = T_{s0} + \frac{(\hat{R}_s - R_{s0})}{\alpha R_{s0}} \quad [\text{Ecu. 12}],$$

en la que T_{s0} y R_{s0} representan T_s y R_s a temperatura ambiente; \hat{T}_s y \hat{R}_s son T_s y R_s estimadas a partir de la inyección de señal CC; y α es el coeficiente de temperatura de resistividad. Por lo tanto, con la resistencia del cable

y la resistencia interna de control, medidas o estimadas, se puede monitorizar la temperatura del arrollamiento del estator utilizando solamente el sensor de corriente para los controladores CA de bucle abierto.

De acuerdo con una realización, cuando la resistencia al cable R_{cable} no es medible, puede ser estimada. Es decir, dado el número del cable en la norma American Wire Gauge (AWG), se puede estimar R_{cable} basándose en la resistividad ρ indicada por la norma AWG, la longitud aproximada l del cable y la temperatura ambiente T_A de la forma siguiente:

$$\hat{R}_{cable} = \rho l + \mu \rho l (T_A - T_0) \quad [\text{Ecu. 13}],$$

en la que μ es el coeficiente de temperatura de la resistividad y T_0 es la temperatura ambiente, suponiendo que la temperatura del cable es la misma que la temperatura ambiente.

De acuerdo con la técnica anterior para obtener una estimación R_s más exacta (mediante la utilización del voltaje terminal y corriente del estator, o corriente solamente), es deseable la introducción de señales de instrucción de voltaje CC más grandes y/o señales de instrucción de corriente CC para incrementar el porcentaje de componentes CC en los voltajes y corrientes del motor. No obstante, se reconoce que la inyección del componente CC provoca pulsaciones de par en el motor CA 26. Por lo tanto, de acuerdo con una realización de la invención, el controlador 42 está programado para inyectar componentes CC máximos en el voltaje y corriente por introducción de una señal de instrucción voltaje/corriente CC máxima, manteniendo al mismo tiempo las pulsaciones de par resultantes bajo un rango de tolerancia predeterminado.

Para determinar una señal de instrucción de voltaje/corriente CC aceptable, se analizan las pulsaciones de par en el motor CA. Es decir, los componentes dominantes en las pulsaciones de par y sus correlaciones con respecto a los componentes CC inyectados, son analizados utilizando teoría de análisis de secuencias en un marco de referencia d-q. Estas pulsaciones de par son descompuestas en componentes a múltiples de la frecuencia fundamental, cada uno de los cuales puede ser monitorizado separadamente observando los componentes de secuencia de las corrientes del motor. De este modo, el voltaje del estator, corriente del estator y enlace de flujo total se describen como vectores espaciales en el marco de referencia estacionario d-q y son definidos respectivamente como \vec{V}_{dqs} , \vec{i}_{dqs} y $\vec{\lambda}_{dqs}$.

Basándose en estas variables, se puede calcular, un par T_{ag} de intersticio de aire, como el producto cruzado de $\vec{\lambda}_{dqs}$ y \vec{i}_{dqs} , de acuerdo con:

$$T_{ag} = \frac{P}{2} \left| \vec{\lambda}_{dqs} \otimes \vec{i}_{dqs} \right| \quad [\text{Ecu. 14}],$$

en la que, P es el número de polos.

Los vectores de flujo y corriente en el espacio se pueden descomponer en vectores de diferentes frecuencias utilizando una Transformación de Fourier, como:

$$\vec{\lambda}_{dqs} = \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{\lambda}_{dqs}^f df \quad \text{y} \quad \vec{i}_{dqs} = \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{i}_{dqs}^f df \quad [\text{Ecu. 15}],$$

en la que, los superíndices de carga de vector descompuesto f indican su dirección de rotación y frecuencia de rotación en el espacio del vector.

Suponiendo que la frecuencia de entrada principal es ω_e , el componente principal en el enlace de flujo total es entonces $\vec{\lambda}_{dqs}^{\omega_e}$.

Despreciando los otros armónicos en el enlace de flujo, la distorsión de par resultante provocada por la corriente CC inyectada \vec{i}_{dqs}^{ds} , se puede evaluar de la forma siguiente:

$$\left| T_{ag}^{i\omega_e} \right| = \frac{P}{2} \left| \bar{\lambda}_{dqs}^{i\omega_e} \otimes \bar{i}_{dqs}^{dc} \right| \quad [\text{Ecu 16}],$$

que es oscilante en la frecuencia ω_e . El par oscilante provocado por la corriente CC inyectada, conduce a una oscilación de la velocidad del rotor, indicada de forma aproximada del modo siguiente:

$$\left| \omega_r^{i\omega_e} \right| = \frac{\left| T_{ag}^{i\omega_e} \right|}{J \cdot \omega_e} \quad [\text{Ecu.17}],$$

en la que $\omega_r^{i\omega_e}$ representa la oscilación de velocidad, y J representa la inercia de rotación total del sistema del motor. De este modo, de acuerdo con el análisis de las pulsaciones de par en el motor CA proporcionado por las ecuaciones 14-17, se puede determinar una señal de instrucción aceptable de voltaje/corriente CC.

Se observará que el sistema y procedimiento anteriormente indicados para inyectar un componente CC en el suministro de potencia del motor AC facilita estimación R_s en línea utilizando solamente los voltajes y corriente terminales del motor (o las corrientes solamente), sin necesidad de ningún otro sensor, tal como transductores de velocidad y de par. Esta disposición permite una técnica no intrusiva, sin detectores, y de bajo coste para determinar la resistencia del arrollamiento de estator en tiempo real mientras el motor CA se encuentra en funcionamiento.

Haciendo referencia a continuación a la figura 9, se indica una técnica 64 para la estimación de la temperatura del arrollamiento del estator en el motor. La técnica empieza en la ETAPA 66 con la determinación de si se desea una estimación de la temperatura del arrollamiento del estator en un momento determinado. Esta determinación puede ser realizada, por ejemplo, basándose en un intervalo determinado en el tiempo entre estimaciones de temperatura (por ejemplo, cada 5 minutos). Si se determina que no se desea estimación de temperatura en el momento 68, entonces la técnica pasa a la ETAPA 70, en la que el controlador del motor continúa funcionando en modalidad estándar. No obstante, si se determina que se desea una estimación de temperatura 72, entonces la técnica se desplaza a la ETAPA 74, en la que el controlador del motor es conmutado a una modalidad de inyección CC, en la que se introduce una instrucción CC para provocar que el controlador del motor inyecte una señal CC en la salida de control del motor, de acuerdo con uno de los esquemas de control en bucle cerrado y en bucle abierto indicados anteriormente de manera detallada.

En la ETAPA 76, se calculan los componentes CC V_{ab} , I_a en el voltaje y corriente de fase del motor CA al motor de inducción. Basándose en el voltaje de línea y corriente de fase del motor, calculados, se determinan a continuación en las ETAPAS 78 y 80, respectivamente, la resistencia y la temperatura del arrollamiento del estator de la manera anteriormente indicada en las ecuaciones 7 y 8. La resistencia y temperatura calculadas del arrollamiento de estator se pueden transmitir/informar en la ETAPA 82, por ejemplo, a un dispositivo de control del controlador del motor. La resistencia y temperatura del arrollamiento de estator determinadas pueden ser analizadas para determinar, por ejemplo, si se ha cruzado un umbral de temperatura para el motor.

Haciendo referencia a continuación a la figura 10, se indica una técnica 84 basada en la corriente para estimación de la temperatura del arrollamiento de estator en el motor, de manera que solamente se tienen que analizar la corriente de fase del motor de inducción. La técnica es aplicable a la técnica de control de bucle abierto mostrado en la figura 6, y empieza con la inyección de una señal CC (es decir, corriente CC) en la ETAPA 86. La corriente CC presente en la corriente de fase del motor de inducción es medida a continuación en la ETAPA 88, tal como se ha indicado en la ecuación 9. Una compensación para la resistencia del controlador del motor y del cable que conecta el controlador del motor y el motor se lleva a cabo en la ETAPA 90, tal como se ha indicado en la ecuación 13, por ejemplo (basándose en valores conocidos o estimados para la resistencia $R_{\text{controlador}}$ del controlador del motor y la resistencia del cable R_{cable}). La técnica 84 continúa entonces en la ETAPA 92 con una determinación de si ha cambiado la carga del motor. Si la carga no ha cambiado 94, entonces se estima la temperatura del arrollamiento del estator en la ETAPA 96, de acuerdo con las ecuaciones 11 y 12. Si la carga ha cambiado 98, entonces la corriente de referencia es reescalada en la etapa 100 (en comparación con la corriente medida en la ETAPA 88) tal como se indica en la ecuación 10. Después de este reescalado, se estima la temperatura del arrollamiento del estator en la ETAPA 96.

Si bien el control del motor que se ha descrito anteriormente se ha indicado incluyendo el controlador 42 en el mismo, se reconocerá también que el controlador 42 puede ser dispuesto separadamente en un módulo/dispositivo separado del controlador del motor y sus controladores asociados. Haciendo referencia a continuación a la figura 11, de acuerdo con otra realización de la invención, se ha mostrado un controlador 102 como dispositivo separado del controlador del motor 104. El controlador 102 puede ser integrado en un control remoto o dispositivo de cálculo configurado para transmitir la señal de instrucción CC al controlador 104 del motor, por ejemplo, mediante una

conexión por cable o inalámbrica. Tal como se ha indicado en las realizaciones descritas anteriormente de forma detallada, el controlador 104 del motor puede funcionar de acuerdo con una técnica de control de bucle abierto o bucle cerrado y, de este modo, de acuerdo con realizaciones de la invención, el controlador 102 puede ser configurado para generar y transmitir una señal de instrucción en corriente CC o una señal de instrucción en el voltaje CC según determinación por el tipo de esquema de control utilizado para el funcionamiento del controlador 104 del motor. De esta manera, se provoca la inyección de una señal CC en el voltaje de línea y corriente de fase del motor CA, enviada a la carga 26, y esta señal CC es analizada para determinar la resistencia del arrollamiento del estator.

Una contribución técnica del procedimiento y aparato descritos, es que proporcionan una técnica implementada por ordenador para determinar la resistencia del arrollamiento del estator para protección térmica de motores CA. La técnica controla la conmutación en un convertidor (PWM) en un controlador de motor CA para generar una componente CC en una salida del controlador del motor correspondiente a una entrada del motor CA, y determina la resistencia del arrollamiento del estator a partir del componente CC. La temperatura de los arrollamientos del estator se puede determinar también en la técnica basada en la resistencia del arrollamiento del estator.

Por lo tanto, de acuerdo con una realización de la presente invención, un sistema para estimar la resistencia de un arrollamiento de estator de un motor CA incluye un controlador de motor CA que tiene una entrada conectable a una fuente CA y una salida conectable a un terminal de entrada del motor CA. El controlador del motor CA incluye, además, un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) que tiene una serie de conmutadores para controlar el flujo de la corriente y voltajes de terminal en el motor CA y un sistema de control conectable al convertidor PWM. El sistema de control está configurado para generar una señal de instrucción para hacer que el convertidor PWM controle una salida del controlador del motor CA correspondiente a una entrada del motor CA, que genere selectivamente una señal de instrucción modificada para hacer que el convertidor PWM inyecte una señal CC en la salida del controlador del motor CA y determine una resistencia de arrollamiento del estator del motor basándose en la señal CC de, como mínimo uno de dichos voltaje y corriente.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, un procedimiento para la determinación de la resistencia del arrollamiento del estator de un motor CA comprende la etapa de proporcionar un control de motor CA en serie entre la fuente de potencia CA y el motor CA, incluyendo el control del motor CA un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) para acondicionar el voltaje y corriente al motor CA. El procedimiento incluye también la etapa de hacer funcionar selectivamente el controlador del motor CA en modalidad estándar y una modalidad de inyección, en la que el funcionamiento del controlador del motor CA en la modalidad de inyección CC comprende las etapas de añadir una instrucción CC a, como mínimo, una de las instrucciones de voltaje CA y la instrucción de corriente CA para formar una instrucción compuesta, generando un modelo de conmutación para el convertidor PWM basado en la instrucción compuesta, y haciendo funcionar el convertidor PWM de acuerdo con el modelo de conmutación para introducir una señal CC en el voltaje y corriente del motor CA. El funcionamiento del controlador del motor CA en la modalidad de inyección CC incluye, además, las etapas de medición de la señal CC, como mínimo, en uno de dichos voltaje y corriente facilitados al motor CA, y determinar la resistencia del arrollamiento del estator basándose en la señal CC medida.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, se dispone un controlador de motor CA configurado para controlar la transmisión de voltaje y corriente desde la fuente de potencia CA a un motor CA que tiene una resistencia de estator. El controlador de motor CA comprende un convertidor de modulación de amplitud de impulso (PWM) para acondicionar el voltaje de línea y corriente de fase del motor CA al motor de inducción, comprendiendo el convertidor (PWM) para acondicionar el voltaje de línea y corriente de fase del motor CA al motor de inducción, comprendiendo el convertidor PWM una serie de conmutadores, y estando configurado para funcionar, de acuerdo con un esquema de control de modulación de vector de espacio (SVM), para controlar la serie de conmutadores. El controlador del motor CA incluye también un sistema de control configurado para modificar selectivamente el esquema de control SVM para el convertidor PWM para inyectar una señal CC en el voltaje de línea y la corriente de fase del motor CA y determinar la resistencia del arrollamiento del estator basándose en la señal CC.

La presente invención ha sido descrita en términos de la realización preferente, y se reconocerá que son posibles, dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones equivalentes, alternativas, y modificaciones, a parte de los expresamente indicados.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema para la estimación de la resistencia de un arrollamiento de estator de un motor de corriente alterna (CA), cuyo sistema comprende:
- un controlador (10) de motor CA que tiene una entrada conectable a una fuente CA y una salida conectable a un terminal de entrada de un motor CA, comprendiendo el controlado (10) del motor CA:
- 10 un convertidor (24) de modulación de amplitud de impulso (PWM) que tiene una serie de conmutadores para controlar flujo de corriente y voltajes de terminales en el motor CA; y un sistema de control (28) conectado al convertidor PWM (24) y configurado para:
- 15 generar una señal de instrucción para hacer que el convertidor PWM (24) controle una salida del controlador del motor CA (10) correspondiente con la entrada del motor CA;
- generar selectivamente una señal de instrucción modificada para hacer que el convertidor PWM (24) inyecte una señal CC en la salida del controlador (10) del motor CA con la amplitud de la señal CC inyectada ajustada, de manera que las pulsaciones de par en el motor CA provocadas por la señal CC inyectada se mantienen dentro de un rango de tolerancia predeterminado; y
- 20 determinar la resistencia de arrollamiento del estator de un motor CA basado en la señal CC de, como mínimo, uno de dichos voltaje y corriente.
2. Sistema, según la reivindicación 1, en el que el sistema de control (28) está configurado adicionalmente para:
- 25 generar una señal de control de voltaje CC;
- combinar la señal de control del voltaje CC con una señal de control de voltaje CA para formar la señal de control modificada.
3. Sistema, según la reivindicación 1, en el que el sistema de control (28) está configurado adicionalmente para:
- 30 generar una señal de instrucción de corriente CC;
- combinar la señal de control del corriente CC con una señal de control de corriente CA correspondiente para formar la señal de instrucción modificada.
- 35 4. Sistema, según la reivindicación 1, en el que el sistema de control (28) está configurado además para determinar la temperatura del arrollamiento del estator basándose en la resistencia determinada del estator en tiempo real, mientras el motor CA se encuentra en funcionamiento.
- 40 5. Sistema, según la reivindicación 1, en el que el sistema de control (28) está configurado para determinar un modelo de conmutación para la serie de conmutadores en el convertidor PWM (24) basándose en la señal de instrucción modificada, provocando de esta manera inyección de la señal CC, como mínimo, en una fase del motor CA.
- 45 6. Sistema, según la reivindicación 5, en el que el sistema de control (28) está configurado para determinar un esquema de control de modulación detector en el espacio (SVM) para proporcionar el modelo de conmutación para la serie de conmutadores del convertidor PWM (24).
- 50 7. Sistema, según la reivindicación 5, que comprende además sensores de voltaje y corriente, y en el que el sistema de control determina la amplitud de la señal CC a partir del voltaje línea a línea y corriente de fase resultantes de una alteración provocada por el modelo de conmutación.
- 55 8. Sistema, según la reivindicación 5, que comprende además sensores de corriente, y en el que el sistema de control (28) determina la amplitud de la señal CC a partir de la corriente de fase resultante de una alteración provocada por el modelo de conmutación.
9. Sistema, según la reivindicación 1, en el que el sistema de control (28) está configurado para:
- 60 generar periódicamente la señal de instrucción modificada en momentos de tiempo predeterminados durante el funcionamiento del motor; y medir la señal CC inyectada en cada uno de los momentos de tiempo predefinidos.
10. Sistema, según la reivindicación 1, en el que el sistema de control (28) está configurado para:
- 65 descomponer las pulsaciones de par en el motor CA en componentes en múltiplos de la frecuencia fundamental; y analizar los componentes de las pulsaciones de par y su correlación con la señal CC inyectada utilizando teoría de análisis de secuencia en el marco de referencia d-q.

11. Procedimiento para la determinación de la resistencia de un arrollamiento del estator del motor CA, que comprende:

5 disponer un controlador de motor CA (10) en serie entre una fuente de potencia CA y el motor CA, comprendiendo el controlador de motor CA (10) un convertidor (24) de modulación de amplitud de impulso (PWM) para acondicionar el voltaje y la corriente al motor CA; haciendo funcionar selectivamente el controlador del motor CA en una modalidad estándar y una modalidad de inyección CC, de manera que el funcionamiento del controlador de motor CA (10) en la modalidad de inyección CC comprende:

10 análisis de las pulsaciones de par del motor CA;
añadir una instrucción CC, como mínimo, a una de una instrucción de voltaje CA y una instrucción de corriente CA basándose en el análisis de las pulsaciones de par del motor CA, y formando de esta manera una instrucción compuesta, con la instrucción CC añadida configurada para mantener las pulsaciones de par en el motor CA dentro de un rango de tolerancia predeterminado;

15 generar un modelo de conmutación para el convertidor PWM (24) basado en la instrucción compuesta;
hacer funcionar el convertidor PWM (24) de acuerdo con el modelo de conmutación para introducir una señal CC en el voltaje y corriente del motor CA;
medir la señal CC en, como mínimo, uno de dichos voltaje y corriente proporcionados al motor CA; y
20 determinar la resistencia del arrollamiento del estator basándose en la señal CC medida.

12. Procedimiento, según la reivindicación 11, en el que la añadidura de la instrucción CC comprende la añadidura de una de dicha señal de instrucción de voltaje CC y señal de instrucción de corriente CC.

25 13. Procedimiento, según la reivindicación 11, en el que la generación del modelo de conmutación comprende la generación de un esquema de control del vector de espacio para el convertidor PWM (24).

30 14. Procedimiento, según la reivindicación 11, en el que la determinación de la resistencia del arrollamiento de estator comprende la determinación de la resistencia del arrollamiento de estator basándose en la señal CC medida en la corriente proporcionada al motor CA o basándose en la señal CC medida en cada uno de dichos voltaje y corriente proporcionados al motor CA.

15. Procedimiento, según la reivindicación 11, que comprende además:

35 descomposición de las pulsaciones de par en el motor CA en componentes, en múltiplos de la frecuencia fundamental; y
analizar los componentes de las pulsaciones de par y su correlación con la señal CC introducida utilizando teoría de análisis de frecuencia en el marco de referencia d-q.

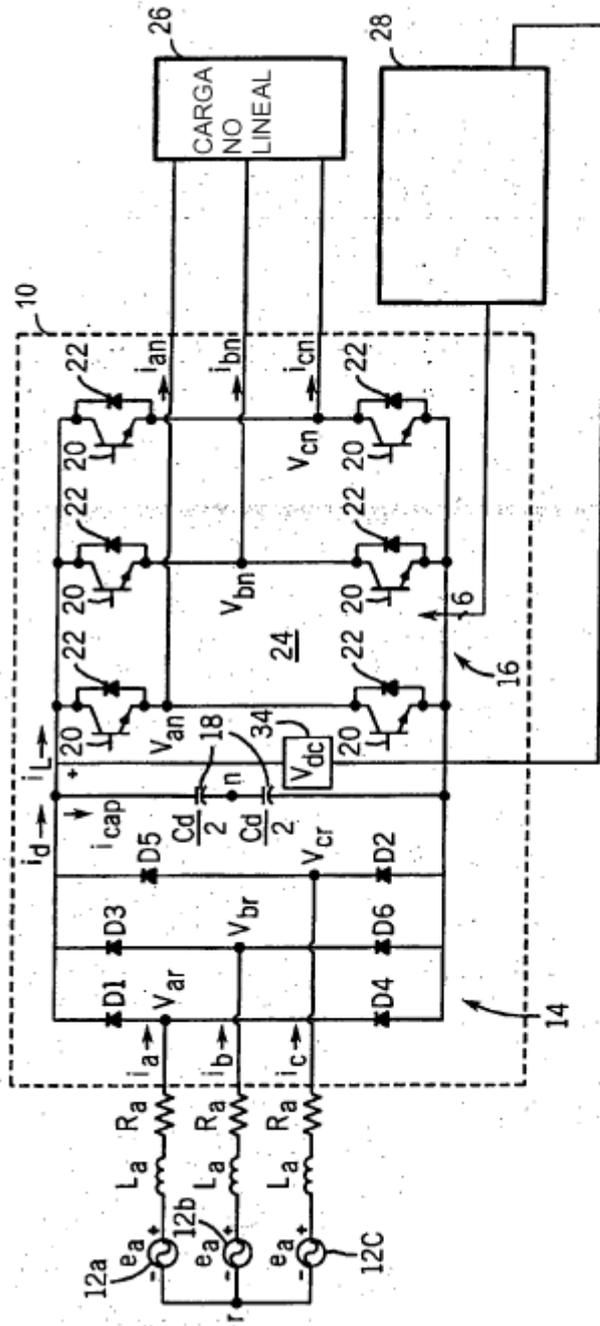


FIG. 1

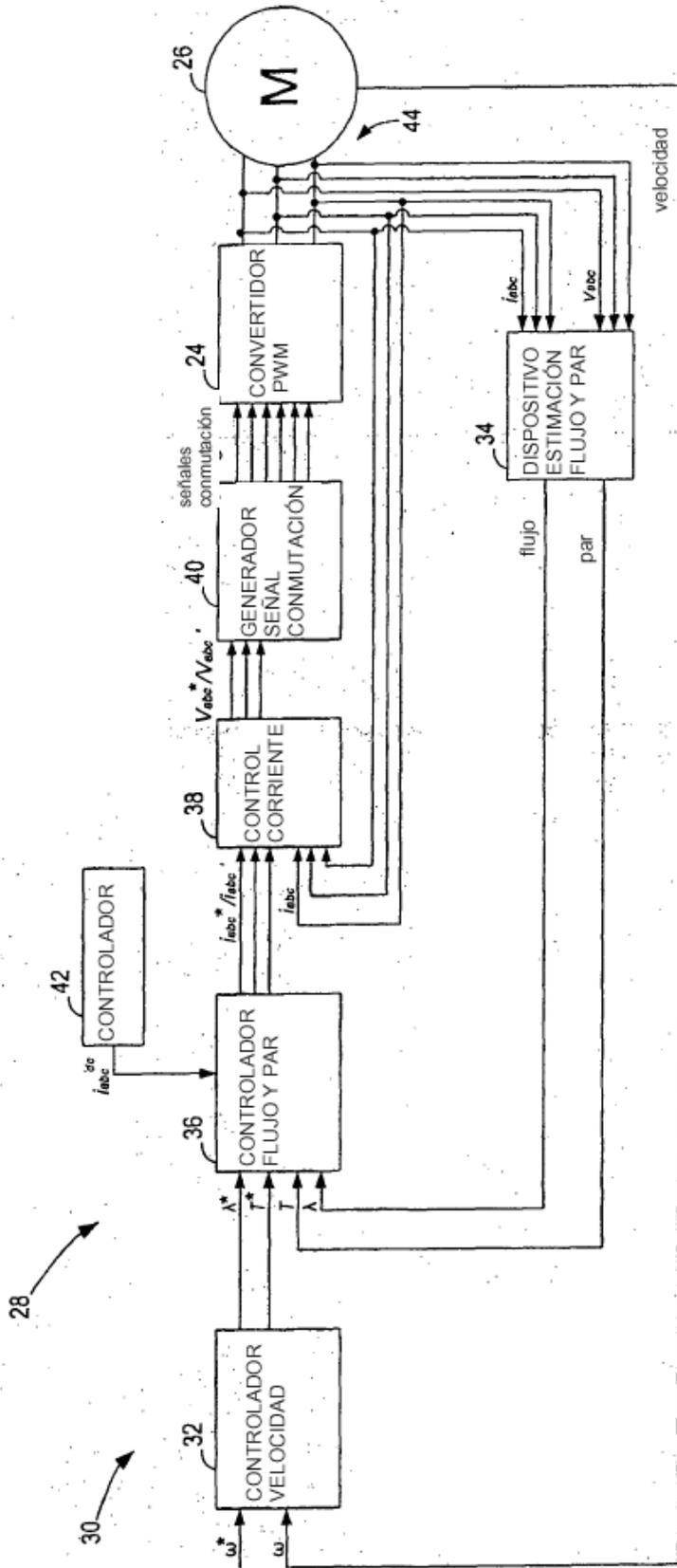


FIG. 2

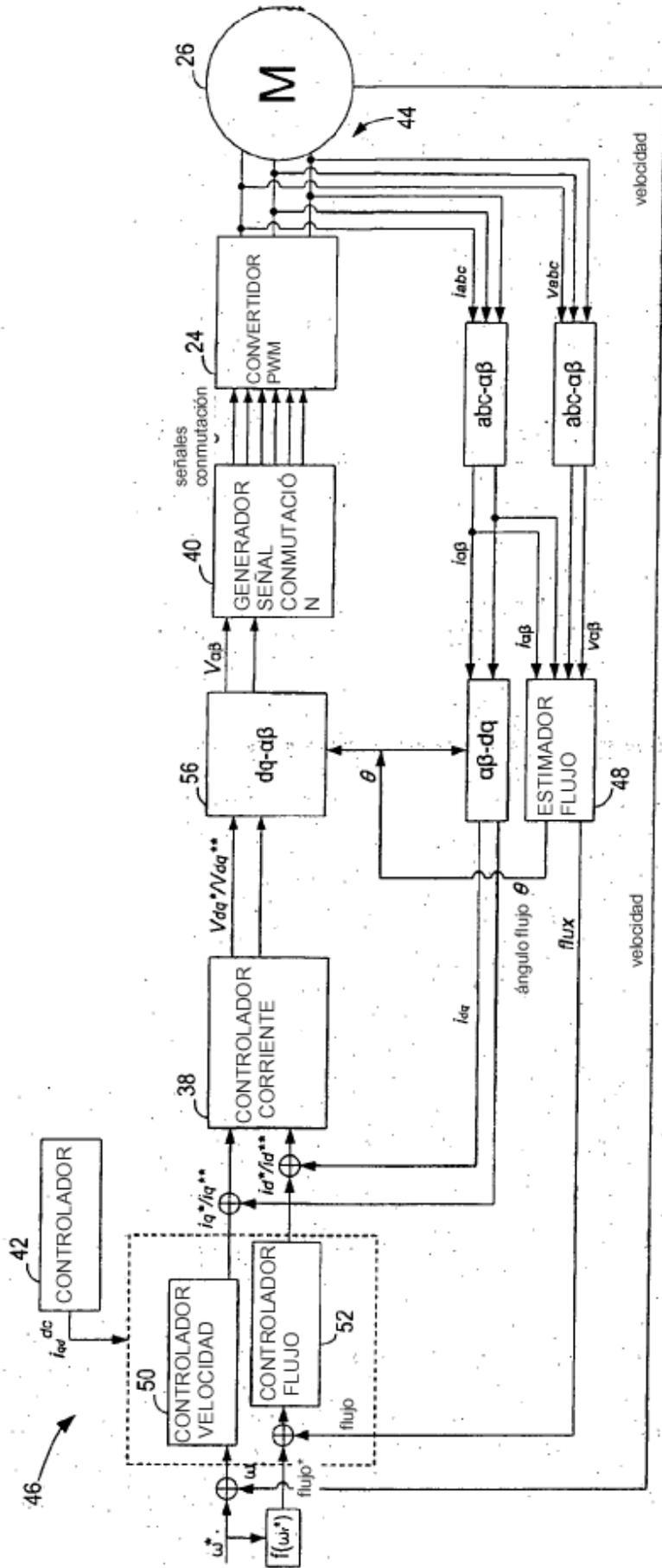


FIG. 3

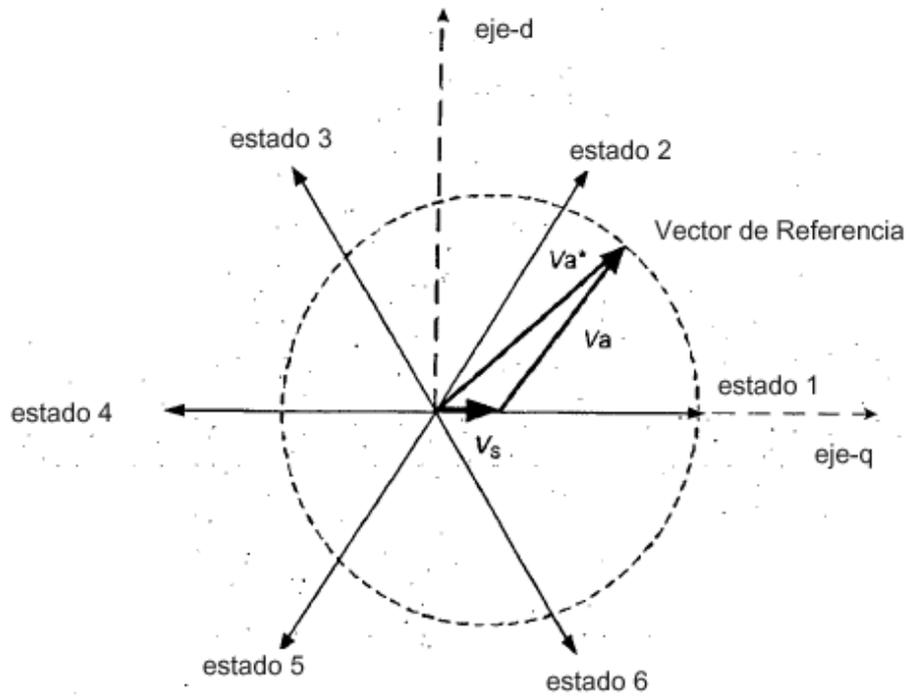


FIG. 4

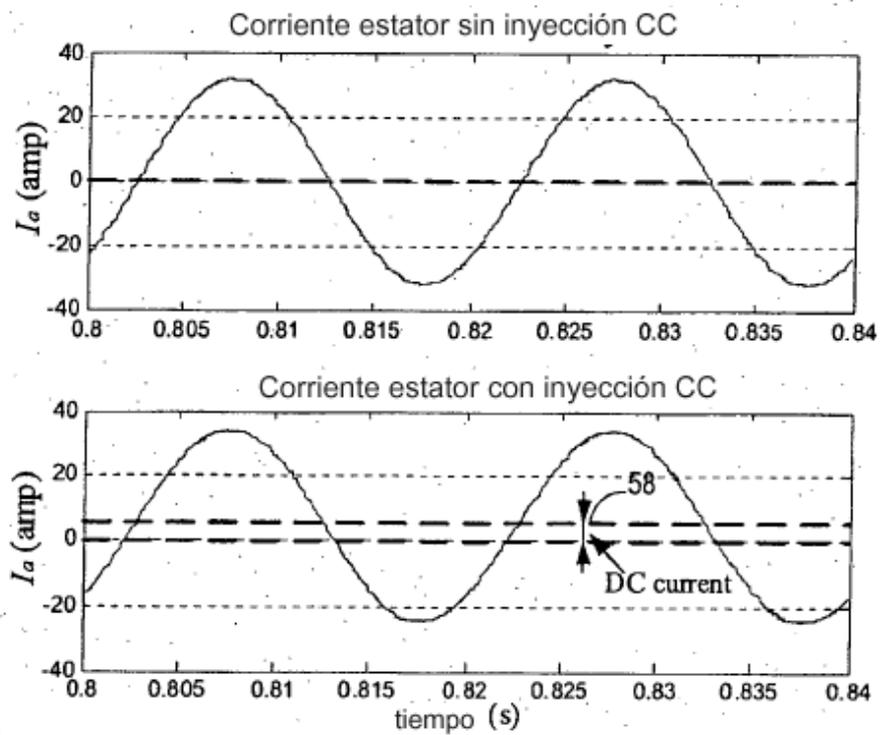


FIG. 5

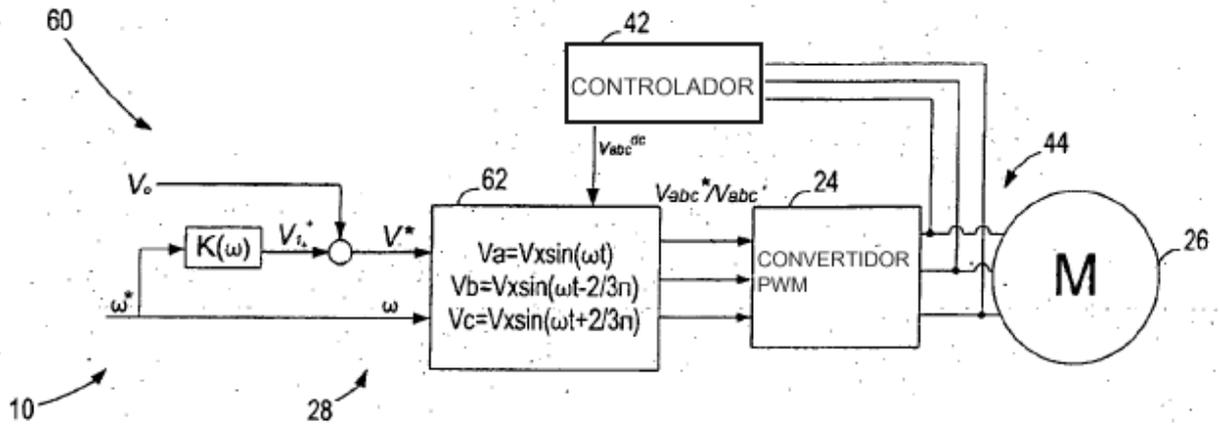


FIG. 6

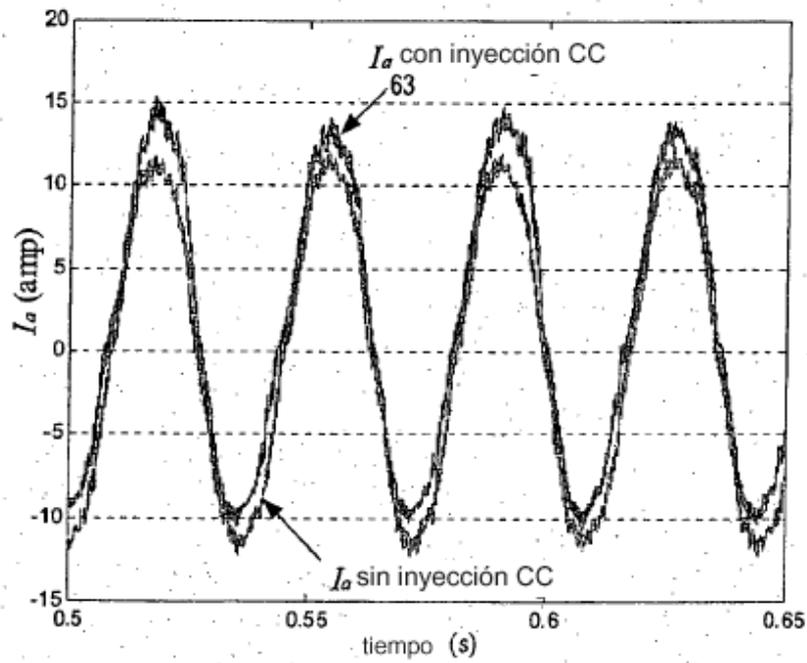


FIG. 7

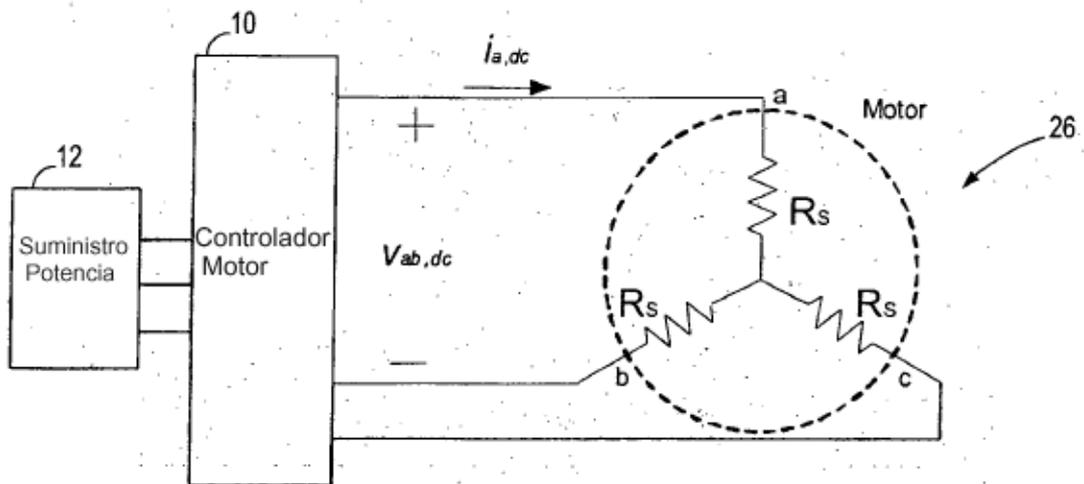


FIG. 8

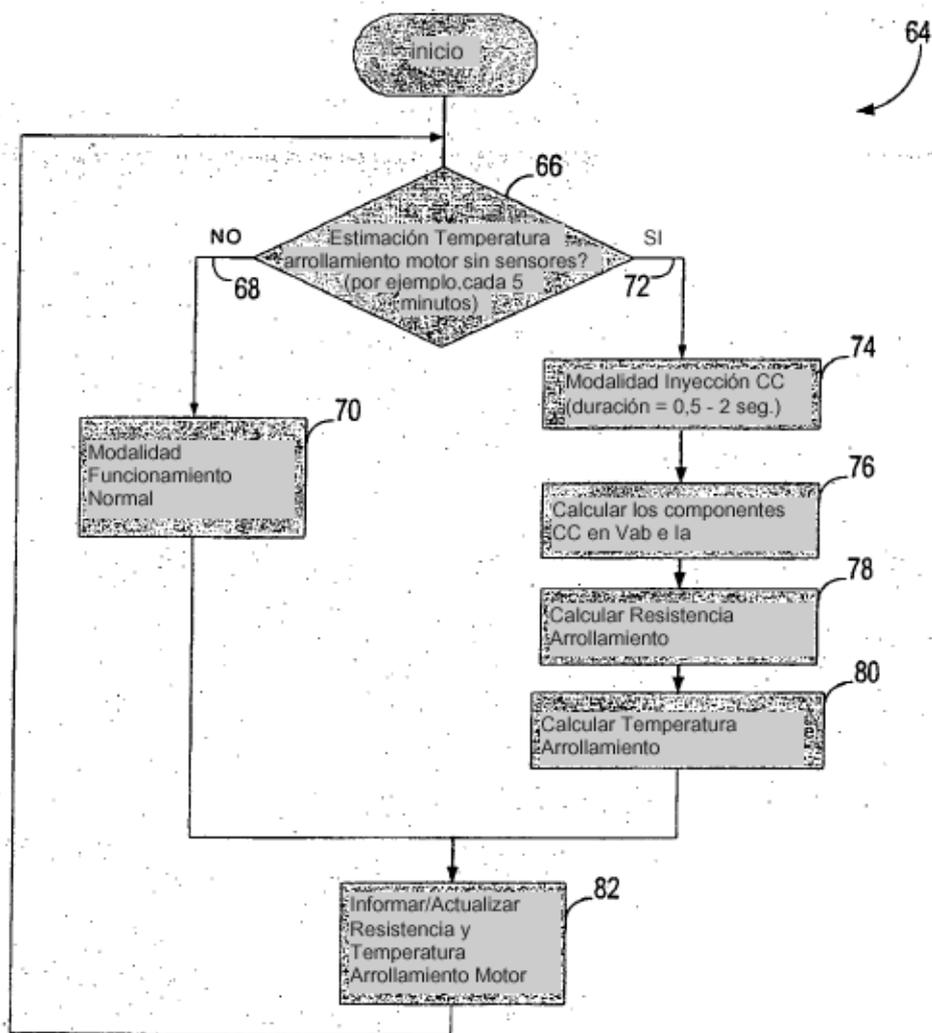


FIG. 9

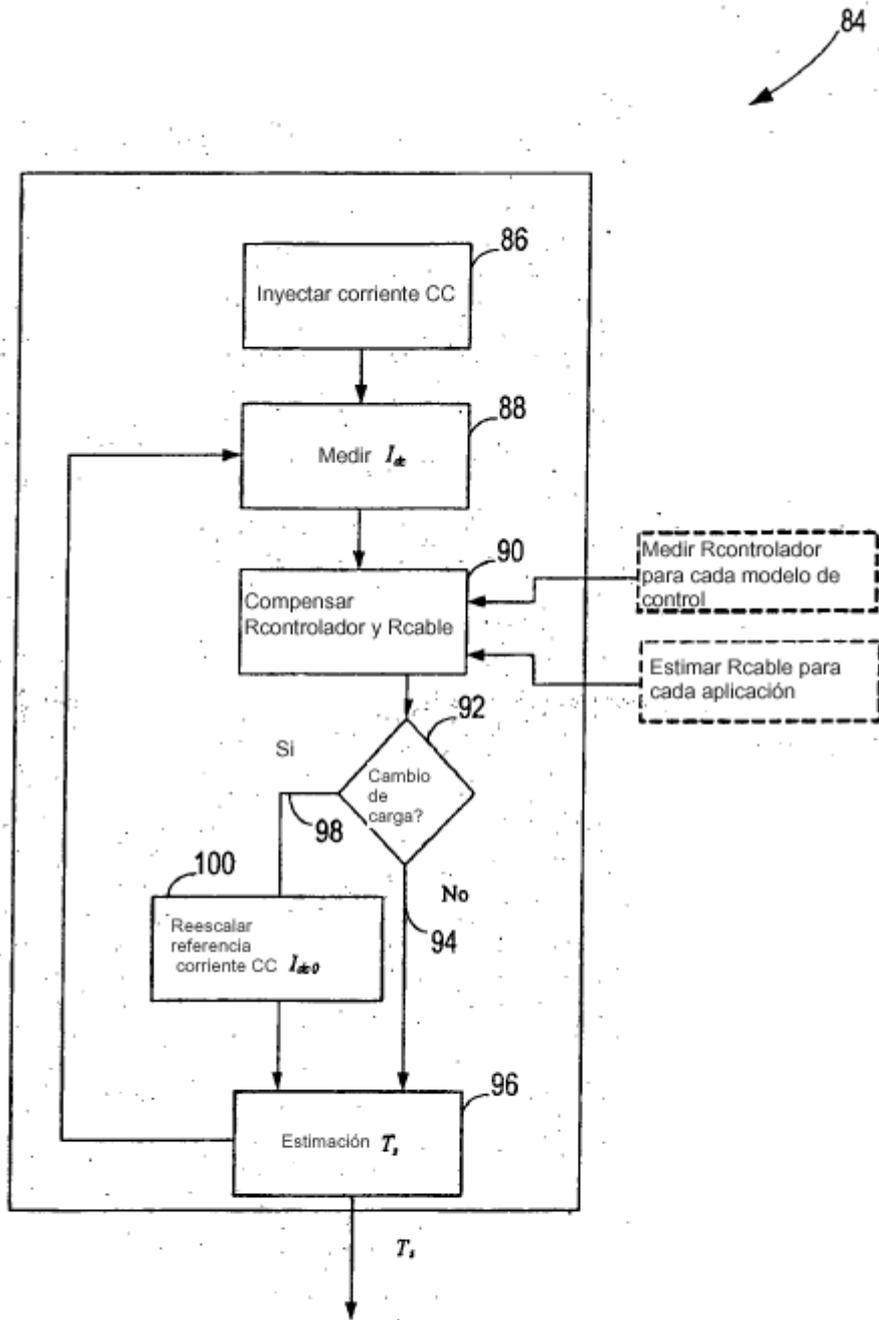


FIG. 10

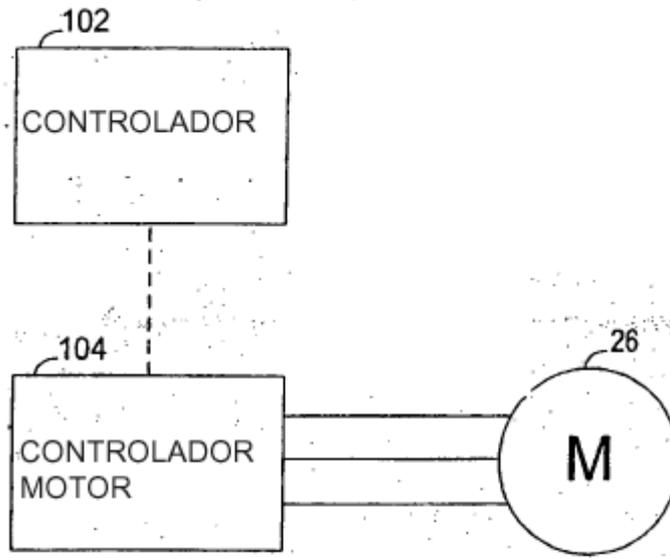


FIG. 11