

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 405 929**

51 Int. Cl.:

**H02P 6/18** (2006.01)

**H02P 21/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2003 E 03709523 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 1493225**

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente**

30 Prioridad:

**02.04.2002 CA 2379732**

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

**04.06.2013**

73 Titular/es:

**TURBOCOR INC. (100.0%)  
7575 TRANS-CANADA HIGHWAY SUITE 500  
ST-LAURENT H4T 1V6 (QUÉBEC), CA**

72 Inventor/es:

**LIN, HUAI**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 405 929 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 controlar un motor eléctrico de imán permanente

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a motores eléctricos de imanes permanentes. Más precisamente, la presente invención se refiere a un sistema y a un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente.

**Antecedentes de la invención**

Por lo general, para controlar un motor de imán permanente, las características del motor de imán permanente, tal como la fase, la frecuencia y la amplitud de la tensión de la fuerza motriz eléctrica ("fme") generada por la rotación del rotor del motor, necesitan determinarse para producir una tensión que se aplica a los terminales del motor.

10 Estas características del motor de imán permanente se pueden obtener mediante el uso de un sensor de posición, lo que resulta en un aumento de los costes y en una reducción de la fiabilidad del procedimiento, porque las señales de retroalimentación están sujetas a cambios en el medio ambiente tales como ruido y temperatura y a la presencia de impurezas, por ejemplo.

15 Un posible procedimiento consiste en estimar la fem del motor de imán permanente. Sin embargo, en el caso de un motor de alta velocidad, este procedimiento requiere una alta velocidad de cálculo, lo que puede resultar costoso. Además, dado que las características del motor son dependientes del entorno ambiental, un procedimiento de control de este tipo puede ser complejo.

La patente europea EP0944164 describe un sistema y un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente utilizando un estimador de tensión inducida.

20 De lo anterior, parece que aunque un número de procedimientos son conocidos para el control de motores de imán permanente, estos procedimientos requieren sensores de posición y un cálculo complicado o bien deben adaptarse al medio de acuerdo con cada diseño de motores de imán permanente.

Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema y un procedimiento que permitan controlar un motor eléctrico de imán permanente de una manera simple, fiable y que se adapten automáticamente a los cambios ambientales.

**Objetivos de la invención**

25 Un objetivo de la presente invención es, por tanto, proporcionar un sistema y un procedimiento de control mejorados para un motor eléctrico de imán permanente.

**Resumen de la invención**

30 Más específicamente, de acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema para controlar un motor eléctrico de imán permanente, que comprende un controlador de motor y una etapa de potencia, utilizando el controlador del motor las corrientes de fase del motor eléctrico de imán permanente para generar señales de control de tensión relacionadas tanto con los cambios en la velocidad como con el par del motor eléctrico de imán permanente, que se alimentan de nuevo al motor eléctrico de imán permanente a través de la etapa de potencia, en el que dicho motor eléctrico de imán permanente es un motor eléctrico de imán permanente trifásico provisto de un rotor y un estator, transportando cada una de las fases del mismo una corriente,  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ , respectivamente.

35 Además, en una realización, se proporciona un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente que comprende determinar una corriente de cada fase del motor eléctrico de imán permanente; obtener las señales de control de tensión relacionadas tanto con los cambios en la velocidad como con el par del motor eléctrico de imán permanente, y enviar la señal de control de tensión de vuelta al motor eléctrico de imán permanente.

40 Además, se proporciona un circuito de acuerdo con la reivindicación 1 para controlar un motor eléctrico de imán permanente trifásico provisto de un rotor y un estator, que comprende un rotor que permite la rotación de las señales de corriente de las fases del motor eléctrico de imán permanente desde un bastidor estacionario hasta dos componentes de corriente desconectados en un bastidor de rotor síncrono a lo largo de un eje directo ( $I_d$ ) y un eje de cuadratura ( $I_q$ ), respectivamente; un operador proporcional e integral para derivar una tensión ( $V_q$ ) a lo largo del eje de cuadratura y una tensión ( $V_d$ ) a lo largo del eje directo; una unidad giratoria que permite girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  de vuelta desde el bastidor de rotor síncrono hasta el bastidor estacionario para producir las tensiones en los bornes  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  del motor eléctrico de imán permanente, en el que se calcula un ángulo de rotación real  $\theta_{n+1}$  mediante un par de la corriente T y una velocidad  $\omega$  del motor eléctrico de imán permanente con la fórmula:  $\theta_{n+1} = \theta_n + k_1 \times \omega + k_2 \times T$ , donde  $k_1$  y  $k_2$  son constantes, y mientras que el par T se puede calcular por la siguiente fórmula:  $T = (V_d \times I_d + V_q \times I_q) / \omega$  usando las corrientes  $I_d$  e  $I_q$  y  $V_d$  y  $V_q$  en el eje d-q fijo en el bastidor del rotor.

50 Se proporciona además un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 para controlar un motor eléctrico de imán permanente trifásico provisto de un rotor y un estator, que comprende señales de corriente rotativas de las

fases del motor eléctrico de imán permanente desde un bastidor estacionario hasta dos componentes de corriente desconectados en un bastidor de rotor síncrono a lo largo de un eje directo ( $I_d$ ) y un eje de cuadratura ( $I_q$ ), respectivamente; derivar una tensión ( $V_q$ ) a lo largo del eje de cuadratura desde el mismo; derivar una tensión ( $V_d$ ) a lo largo del eje directo; girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  de vuelta desde el bastidor de rotor síncrono hasta el bastidor estacionario para producir las tensiones en los bornes  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  del motor eléctrico de imán permanente, en el que se calcula un ángulo de rotación real  $\Theta_{n+1}$  mediante un par de la corriente  $T$  y una velocidad  $\omega$  del motor eléctrico de imán permanente con la fórmula:  $\Theta_{n+1} = \Theta_n + k_1 \times \omega + k_2 \times T(1)$ , donde  $k_1$  y  $k_2$  son constantes, y mientras que el par  $T$  se puede calcular por la siguiente fórmula:  $T = (V_d \times I_d + V_q \times I_q) / \omega$  usando las corrientes  $I_d$  e  $I_q$  y  $V_d$  y  $V_q$  en el eje d-q fijo en el bastidor del rotor.

- 5
- 10
- 15
- En una realización, se proporciona también un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente que tiene tres fases, cada una soportando una corriente,  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ , respectivamente, que comprende determinar las corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ ; girar las corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ , un ángulo  $\Theta_n$  para producir corrientes  $I_d$  e  $I_q$ ; calcular un par de la corriente del motor eléctrico de imán permanente; calcular un ángulo de rotación real  $\Theta_{n+1}$ ; calcular una salida de tensión  $V_q$ , calcular una salida de tensión  $V_d$ ; girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  el ángulo de rotación  $\Theta_{n+1}$  para producir tres señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ , y aplicar las señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  al motor eléctrico de imán permanente.

Otros objetivos, ventajas y características de la presente invención se harán más evidentes tras la lectura de la siguiente descripción no restrictiva de las realizaciones de la misma, dada sólo a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos.

## 20 **Breve descripción de los dibujos**

En los dibujos adjuntos:

La Figura 1 es un diagrama simplificado de un sistema de control del motor de acuerdo con una realización de un primer aspecto de la presente invención; y

- 25
- La Figura 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento para controlar un motor eléctrico de acuerdo con una realización de un segundo aspecto de la presente invención.

## **Descripción de la realización**

De modo general, la presente invención proporciona un sistema y un procedimiento para controlar un motor eléctrico trifásico, mediante el control de las tensiones en los bornes del mismo relacionadas tanto con los cambios en la velocidad como con el par del motor.

- 30
- Más específicamente, la presente invención establece que las corrientes de fase de un motor eléctrico de imán permanente se hacen girar primero desde un bastidor estacionario en dos componentes de corriente desconectados en un bastidor síncrono de rotor, lo que permite derivar una tensión a lo largo de un eje de cuadratura y una tensión a lo largo de un eje directo del mismo, antes de girar de nuevo las tensiones de los ejes de cuadratura y directo desde el bastidor síncrono de rotor hasta el bastidor estacionario para producir las tensiones en los bornes del motor.
- 35

El sistema 10 que se muestra en la Figura 1 comprende un motor de imán permanente, designado en lo sucesivo como el motor PM 12; una etapa de potencia 14, y un controlador de motor 16.

- 40
- El motor PM 12 es un motor eléctrico trifásico provisto de un rotor y un estator (no mostrado), transportando cada una de las fases una corriente,  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ , respectivamente. Estas corrientes de fases las detecta y utiliza la unidad giratoria de vector de Park 16 para generar tres señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ , que se envían después a la etapa de potencia 14.

Por ejemplo, la etapa de potencia 14 puede ser del tipo proporcionado por Semikron, en particular, el SKiiPACK™ 342 GD 120-314 CTV, por ejemplo.

- 45
- La velocidad angular " $\omega$ " del motor la controla un usuario mediante el establecimiento de un valor que representa la velocidad del motor PM 12 en el sistema 10. El usuario elige un valor de referencia real " $I^*$ ", que normalmente se ha establecido en 0, pero se pueden seleccionar otros valores.

- 50
- El controlador de motor 16 está en la forma de una unidad giratoria de vector de Park. La unidad giratoria de vector de Park 16 genera dos ángulos continuamente giratorios que tienen valores instantáneos  $\Theta_{n+1}$  y  $-\Theta_n$  en los que el signo negativo representa una dirección opuesta al giro, el subíndice " $n+1$ " etiqueta un ángulo de cálculo real, y el subíndice " $n$ " etiqueta el ángulo de cálculo anterior.

Para mayor claridad, las etapas principales de un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente utilizando el sistema 10 de acuerdo con un segundo aspecto de la invención se describirán a continuación en referencia a la Figura 2.

En una primera etapa 100, las tres corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ , de las tres fases del motor PM 12 se determinan usando sensores de corriente estándar.

Después, en un paso posterior (200), las tres corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$  son procesadas en una unidad giratoria de vector de Park inversa 18, lo que las hace girar un ángulo  $-\Theta_n$  para generar dos corrientes  $I_d$  e  $I_q$ .

- 5 En la etapa 300, las dos corrientes  $I_d$  e  $I_q$  se utilizan para calcular una corriente de par "T" del motor PM 12, que a su vez se utiliza para calcular el ángulo de giro real  $\Theta_{n+1}$  (etapa 400).

Además, las dos corrientes  $I_d$  e  $I_q$  se utilizan para calcular dos salidas de tensión  $V_q$  y  $V_d$  (etapas 500 y 600). Las salidas de tensión  $V_q$  y  $V_d$  se hacen girar después en una unidad giratoria de vector de Park 20 el ángulo de giro  $\Theta_{n+1}$  para producir tres señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  (etapa 700).

- 10 Volviendo ahora a la Figura 1, las etapas del procedimiento de la presente invención se describirán ahora con más detalles.

El ángulo de cálculo real se deriva en respuesta a los cambios de la velocidad  $\omega$  y del par T del motor PM 12 a partir de la siguiente ecuación:

$$\Theta_{n+1} = \Theta_n + k_1 \times \omega + k_2 \times T \quad (1)$$

- 15 en la que  $k_1$  y  $k_2$  son constantes.

Como se observa en la Figura 1, las corrientes de fase  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$  son dirigidas a través de las líneas 12a, 12b y 12c hasta una primera unidad giratoria del vector de Park inversa 18, lo que las hace girar el ángulo  $-\Theta_n$ , para generar las dos corrientes  $I_d$  e  $I_q$ , de acuerdo con las siguientes relaciones en el eje d-q fijo sobre el eje del rotor:

$$I_d = 2/3 \times [i_a \times \cos(\Theta_n) + i_b \times \cos(\Theta_n + 120^\circ) + i_c \times \cos(\Theta_n - 120^\circ)] \quad (2)$$

$$I_q = 2/3 \times [i_a \times \sin(\Theta_n) + i_b \times \sin(\Theta_n + 120^\circ) + i_c \times \sin(\Theta_n - 120^\circ)] \quad (3)$$

- 20 Se ha de tener en cuenta que se mide cualquiera de las tres corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$  de las tres fases del motor PM 12 o bien solo dos de ellas, calculándose la tercera corriente de fase a partir de las otras dos fases, ya que, como es conocido en la técnica, prevalece la siguiente relación:

$$\sum_{\text{tres fases}} i = 0$$

- 25 Los valores girados  $I_d$  e  $I_q$  se utilizan además para generar una primera salida de tensión  $V_q$  que tiene en cuenta un error entre el valor de preselección  $I^*$  e  $I_d$ , de acuerdo con la siguiente ecuación en el eje d-q fijo sobre el eje del rotor:

$$V_q = PI(I^* - I_d) + k_3 \times I_q \quad (5)$$

en la que  $K_3$  es una constante, "PI" se refiere a un operador proporcional e integral, que se define como sigue:

$$PI(x) = ax + \int b f x dt \quad (6)$$

- 30 en la que a y b son constantes y la integral es el tiempo.

Los valores  $I_d$  e  $I_q$  girados se utilizan también para generar la segunda salida de tensión  $V_d$ , de acuerdo con la siguiente ecuación en el eje d-q fijo en el eje del rotor:

$$V_d = k_4 \times I_d + k_5 \times I_q \times \omega \quad (7)$$

en la que  $k_4$  y  $k_5$  son constantes.

- 35 Por otra parte, la velocidad  $\omega$  es establecida por el usuario como se ha indicado anteriormente, mientras que el par T se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$T = (V_d \times I_d + V_q \times I_q) / \omega \quad (8)$$

usando las corrientes  $I_d$  e  $I_q$  y  $V_d$  y  $V_q$  en el eje d-q fijo en el bastidor del rotor, tal como se ha determinado por las ecuaciones (2) - (3).

Las dos tensiones  $V_d$  y  $V_q$  en el bastidor de referencia que gira continuamente se someten después a una segunda unidad giratoria del vector de Park 20, por el que se hacen girar el ángulo  $\Theta_{n+1}$ , para producir tres señales de control de tensión, es decir  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  que controlan la unidad de potencia 14, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$V_a = V_d \times \cos(\Theta_{n+1}) + V_q \times \text{sen}(\Theta_{n+1}) \quad (9)$$

$$V_b = V_d \times \cos(\Theta_{n+1} + 120^\circ) + V_q \times \text{sen}(\Theta_{n+1} + 120^\circ) \quad (10)$$

$$V_c = V_d \times \cos(\Theta_{n+1} - 120^\circ) + V_q \times \text{sen}(\Theta_{n+1} - 120^\circ) \quad (11)$$

Hay que señalar que  $k_1$  a  $k_5$  valores son constantes que el usuario establece, al diseñar el sistema 10, en base a un número de parámetros, que incluyen la velocidad de muestreo del ordenador a ser utilizada, la condición de la unidad de potencia, la sensibilidad de los sensores de corriente, las características del motor, etc ...

10 De lo anterior, debería ser evidente que la presente invención proporciona un sistema y un procedimiento mediante el cual las tensiones en los bornes del motor son autoadaptables. Más específicamente, tres señales de corriente se hacen girar primero desde un bastidor estacionario hasta dos componentes de corriente desconectados en un bastidor síncrono de rotor, a lo largo de un eje directo ( $I_d$ ) y de un eje de cuadratura ( $I_q$ ) respectivamente. A continuación, por un lado, una tensión ( $V_q$ ) a lo largo del eje de cuadratura se derivada del mismo, mediante la aplicación de un operador proporcional e integral en el componente de corriente del eje directo añadido con un producto de una constante y los componentes de corriente a lo largo del eje de cuadratura (véase ecuación 5). Por otra parte, una tensión ( $V_d$ ) a lo largo del eje directo se deriva, como un producto del componente de corriente del eje directo añadido a un producto de la velocidad del motor por el componente de corriente de cuadratura (véase la ecuación 7). Finalmente, las tensiones de los ejes de cuadratura y directo ( $V_q$  y  $V_d$ ) así calculadas se hacen girar de vuelta desde el bastidor síncrono del rotor hasta el bastidor estacionario para producir las tensiones en los bornes del motor ( $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ , véanse las ecuaciones 9-11).

Por lo tanto, el presente sistema y procedimiento para permitir un valor de actualización continua del ángulo en respuesta a los cambios de velocidad y variaciones en el par de torsión, así como a los cambios en las condiciones ambientales.

25 De lo anterior, ahora es también evidente que la presente invención proporciona un circuito para controlar un motor eléctrico de imán permanente trifásico provisto de un rotor y un estator, que comprende un rotor que permite el giro de las señales de corriente de las fases del motor eléctrico de imán permanente desde un bastidor estacionario hasta dos componentes de corriente desconectados en un bastidor síncrono de rotor a lo largo de un eje directo ( $I_d$ ) y un eje de cuadratura ( $I_q$ ), respectivamente; un operador proporcional e integral para derivar una tensión ( $V_q$ ) a lo largo del eje de cuadratura y una tensión ( $V_d$ ) a lo largo del eje directo; una unidad giratoria que permite girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  de vuelta desde el bastidor de rotor síncrono hasta el bastidor estacionario para producir tensiones en los bornes  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  del motor eléctrico de imán permanente.

35 En particular, los expertos en la materia apreciarán que el procedimiento y sistema de la presente invención permite el control de un motor de imán permanente sin recurrir a sensores o de posición o características del motor de imán permanente, tal como la fem, que son susceptibles a depender del entorno, adaptándose de ese modo a las condiciones ambientales.

Son posibles variaciones y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un circuito (16) para controlar un motor eléctrico de imán permanente trifásico (12) provisto de un rotor y un estator, que comprende un rotor que permite la rotación de las señales de corriente de las fases del motor eléctrico de imán permanente (12) desde un bastidor estacionario hasta dos componentes de corriente desconectados en un bastidor de rotor síncrono a lo largo de un eje directo ( $I_d$ ) y un eje de cuadratura ( $I_q$ ), respectivamente; un operador proporcional e integral para derivar una tensión ( $V_q$ ) a lo largo del eje de cuadratura y una tensión ( $V_d$ ) a lo largo del eje directo; una unidad giratoria que permite girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  de vuelta desde el bastidor de rotor síncrono hasta el bastidor estacionario para producir las tensiones en los bornes  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  del motor eléctrico de imán permanente (12), **caracterizado porque** comprende medios configurados para calcular un ángulo de rotación real  $\Theta_{n+1}$  utilizando un par de la corriente T y una velocidad  $\omega$  del motor eléctrico de imán permanente (12) con la fórmula:  $\theta_{n+1} = \theta_n + k_1 \times \omega + k_2 \times T$ , en la que  $k_1$  y  $k_2$  son constantes, y mientras que el par T se puede calcular por la siguiente fórmula:  $T = (V_d \times I_d + V_q \times I_q) / \omega$  usando las corrientes  $I_d$  e  $I_q$  y  $V_d$  y  $V_q$  en el eje d-q fijo en el bastidor del rotor.

2. Un sistema (10) para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12), utilizando el circuito (16) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un controlador de motor (16) y una etapa de potencia (16), utilizando dicho controlador de motor (16) corrientes de fase (12a, 12b, 12c) del motor eléctrico de imán permanente (12) para generar señales de control de tensión ( $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ ) relacionadas tanto con los cambios en la velocidad como en el par del motor eléctrico de imán permanente (12), que son alimentadas de nuevo al motor eléctrico de imán permanente (12) a través de la etapa de potencia (14), en el que dicho motor eléctrico de imán permanente (12) es un motor eléctrico de imán permanente trifásico (12) provisto de un rotor y un estator, transportando cada una de las fases del mismo una corriente,  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$  (12a, 12b, 12c) respectivamente.

3. El sistema (10, 16) para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, dicho sistema (10, 16) respondiendo continuamente a los cambios de velocidad y del par del motor eléctrico de imán permanente (12), así como a los cambios en las condiciones ambientales.

4. Un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente trifásico (12) provisto de un rotor y un estator, que comprende girar las señales de corriente de las fases del motor eléctrico de imán permanente (12) desde un bastidor estacionario hasta dos componentes de corriente desconectados en un bastidor síncrono del rotor a lo largo de un eje directo ( $I_d$ ) y un eje de cuadratura ( $I_q$ ), respectivamente; derivar una tensión ( $V_q$ ) a lo largo del eje de cuadratura desde el mismo; derivar una tensión ( $V_d$ ) a lo largo del eje directo; girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  de vuelta desde el bastidor de rotor síncrono hasta el bastidor estacionario para producir tensiones en los bornes  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  del motor eléctrico de imán permanente (12), **caracterizado por** calcular un ángulo de rotación real  $\theta_{n+1}$  utilizando un par de la corriente T y una velocidad  $\omega$  del motor eléctrico de imán permanente con la fórmula:  $\theta_{n+1} = \theta_n + k_1 \times \omega + k_2 \times T$  (1), en la que  $k_1$  y  $k_2$  son constantes, y mientras que el par T se puede calcular por la siguiente fórmula:  $T = (V_d \times I_d + V_q \times I_q) / \omega$  usando las corrientes  $I_d$  e  $I_q$  y  $V_d$  y  $V_q$  en el eje d-q fijo en el bastidor del rotor.

5. Un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12) de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende:

determinar una corriente de cada fase (12a, 12b, 12c) del motor eléctrico de imán permanente (12);

obtener señales de control de tensión ( $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ ) relacionadas tanto con los cambios en la velocidad como en el par del motor eléctrico de imán permanente (12); y alimentar la señal de control de tensión ( $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ ) de vuelta al motor eléctrico de imán permanente (12), comprendiendo además dicho procedimiento calcular un par de la corriente T del motor eléctrico de imán permanente (12), en el que dicho cálculo de una par de la corriente T comprende el giro de las corrientes de cada fase (12a, 12b, 12c) del motor eléctrico de imán permanente (12) un ángulo  $-\theta_n$  (18) para dar salida a dos corrientes  $I_d$  e  $I_q$ , de acuerdo con las siguientes relaciones en un eje d-q fijo en un eje del rotor del motor eléctrico de imán permanente (12):

$$I_d = 2/3 \times [i_a \times \cos(\theta_n) + i_b \times \cos(\theta_n + 120^\circ) + i_c \times \cos(\theta_n - 120^\circ)] \quad (2)$$

y

$$I_q = 2/3 \times [i_a \times \cos(\theta_n) + i_b \times \cos(\theta_n + 120^\circ) + i_c \times \cos(\theta_n - 120^\circ)] \quad (3).$$

6. Un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende:

determinar una corriente de cada fase del motor eléctrico de imán permanente (12), obtener señales de control de tensión relacionadas tanto con los cambios en la velocidad como en el par del motor eléctrico de imán permanente (12), y alimentar la señal de control de tensión de vuelta al motor eléctrico de imán permanente, en el que dicha determinación de una corriente de cada fase del motor eléctrico de imán permanente (12) comprende la medición de una corriente de dos fases del mismo y el cálculo de una corriente de una tercera fase mediante la relación:

$$\sum_{\text{tres fases}} i = 0$$

en el que dicha obtención de señales de control de tensión comprende:

- 5            calcular un ángulo de rotación real  $\theta_{n+1}$ ;  
               calcular dos salidas de tensión  $V_d$  y  $V_q$ ; y  
               girar las salidas de tensión  $V_d$  y  $V_q$  el ángulo  $\theta_{n+1}$ ;

7. El procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12) de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicho cálculo de dos salidas de tensión  $V_d$  y  $V_q$  comprende:

- 10            calcular la salida de tensión  $V_q$  en un eje d-q fijo en un eje del rotor:  $V_q = PI(I^* - I_d) + k_3 \times I_q$  (5) en la que  $k_3$  es una constante, refiriéndose "PI" a un operador proporcional e integral que se define como sigue:  $PI(x) = ax + b \int x dt$  en la que a y b son constantes y la integral es de tiempo;  
               y calcular la salida de tensión  $V_d$ , de acuerdo con la siguiente ecuación en el eje d-q fijo en el eje del rotor:  $V_d = k_5 \times I_d + k_4 \times I_q \times \omega$  en la que  $k_4$  y  $k_5$  son constantes.

15            8. El procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12) de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicha obtención de señales de control de tensión comprende la obtención de tres señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  de acuerdo con las siguientes ecuaciones:  $V_a = V_d \times \cos(\theta_{n+1}) + V_q \times \sin(\theta_{n+1})$ ,  $V_b = V_d \times \cos(\theta_{n+1} + 120^\circ) + V_q \times \sin(\theta_{n+1} + 120^\circ)$  y  $V_c = V_d \times \cos(\theta_{n+1} - 120^\circ) + V_q \times \sin(\theta_{n+1} - 120^\circ)$ .

20            9. El procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en el que las constantes se han establecido en base a un número de parámetros seleccionados en el grupo que comprende una tasa de muestreo de un ordenador utilizado, condiciones de una unidad de potencia, sensibilidad de los sensores de corriente utilizados para las mediciones de corriente y las características del motor eléctrico de imán permanente.

10. Un procedimiento para controlar un motor eléctrico de imán permanente (12) de acuerdo con la reivindicación 4, que tiene tres fases, cada una soportando una corriente  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ , respectivamente, que comprende:

- 25            determinar las corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$ ; girar las corrientes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$  un ángulo  $-\theta_n$  para producir las corrientes  $I_d$  e  $I_q$ ; calcular un par de la corriente del motor eléctrico de imán permanente (12);  
               calcular un ángulo de giro real  $\theta_{n+1}$ ; calcular una salida de tensión  $V_q$ ; calcular una salida de tensión  $V_d$ ;  
               girar las tensiones  $V_q$  y  $V_d$  el ángulo de giro  $\theta_{n+1}$  para producir tres señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$ , y aplicar las señales de control de tensión  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  al motor eléctrico de imán permanente (12).

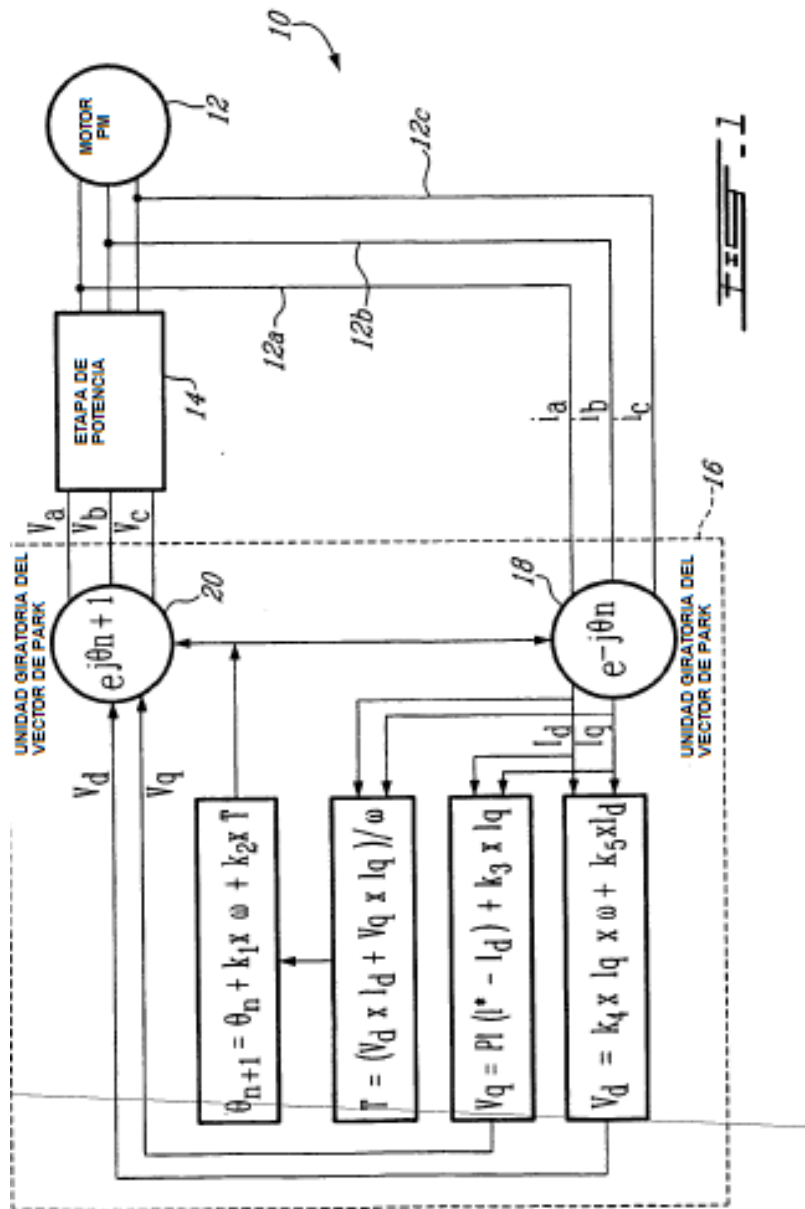


FIG. 1



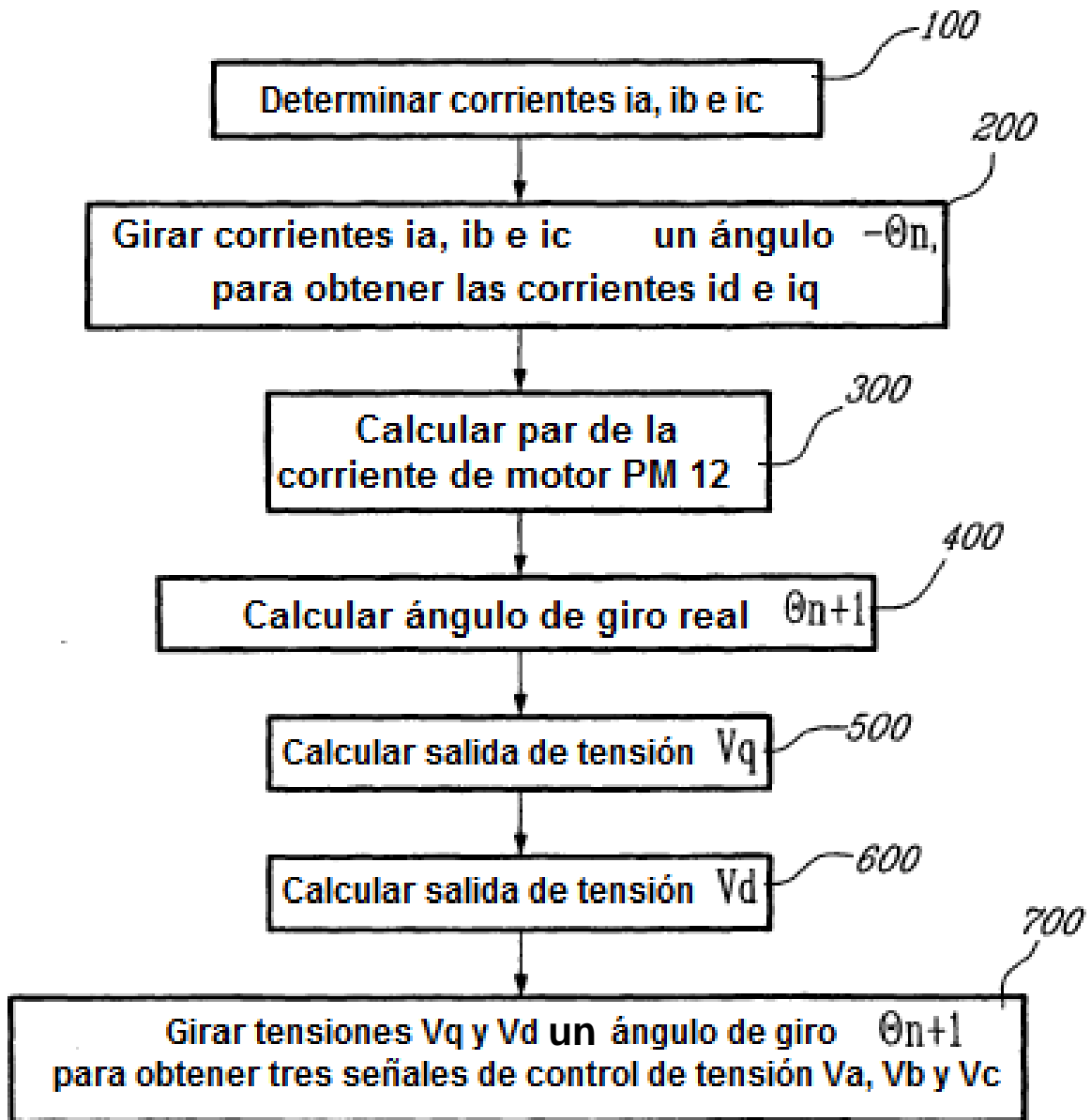


FIG. 2