

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 551**

51 Int. Cl.:

**H02P 6/08** (2006.01)

**H02P 21/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2012 E 12191698 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2592747**

54 Título: **Método y sistema para controlar un motor**

30 Prioridad:

**10.11.2011 CN 201110355846**

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

**11.05.2018**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**LI, YONG;  
KANG, PENGJU;  
ZHOU, RONGHUI;  
SHEN, XIANGMING;  
CHEN, XIAO;  
CAI, ZILI y  
ZHAO, TONG**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 667 551 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**

Método y sistema para controlar un motor

**ANTECEDENTES**

5 Las realizaciones de la invención se refieren en general a un método y sistema para controlar un motor, y más particularmente se refieren a un método y sistema para controlar un motor de corriente alterna (CA) que emite un par motor que cambia linealmente con respecto a un ángulo de fase de tensión de un vector de tensión aplicado al mismo.

10 Un motor de CA es controlado por un vector de tensión emitido desde un sistema de control y genera un par motor para accionar las ruedas de un vehículo híbrido o de un vehículo eléctrico. El vector de tensión es generado a través de la conversión de una tensión de corriente continua (CC) procedente de una fuente de alimentación de CC. El par motor cambia con una amplitud de tensión y un ángulo de fase de tensión del vector de tensión. Actualmente, el par motor es controlado a través de la regulación tanto de la amplitud de tensión como del ángulo de fase de tensión. Sin embargo, es difícil determinar un buen punto de la amplitud de tensión y del ángulo de fase de tensión para asegurar que el par motor sea tan alto como sea posible para asegurar la tasa de utilización de tensión del bus de CC.

15 Inaguma Y y col, "Development and testing of the torque control for the permanent-magnet synchronous motor", en IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE Service center, Piscataway, NJ, EE.UU, vol. 52, nº 3, 1 de Junio de 2005, páginas 800-806, XP011133058, ISSN: 0278-0046, DOI: 10.1109/TIE.2005.847596 describe un método de control de motor para diferentes velocidades de rotor con compensadores que utilizan fases de tensión para controlar el par para mejorar el par por estos medios.

20 El documento EP 1263125 A2 describe un sistema de control para un motor de CA con control de la fase de tensión aplicada al motor para realizar control de par. Una relación de cambio de par y de cambio de fase es calculada y utilizada para compensar el par por medio de un control de alimentación hacia delante o de avance que cambia la fase de tensión.

25 Se ha proporcionado una aproximación para mejorar el par motor y la tasa de utilización de tensión de bus de CC fijando la amplitud de tensión y variando el ángulo de fase de tensión de modo que el par motor es controlado sólo a través del cambio del ángulo de fase de tensión. Por ejemplo, véase Hideo Nakai y col., "Development and testing of the torque control for the permanent-magnet synchronous motor", en IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 3, Junio de 2005. Sin embargo, en esta aproximación, el par motor cambia de manera no lineal con el ángulo de fase de tensión. Un inconveniente de esta aproximación es que no puede calcular y controlar rápida y continuamente el par motor.

30 Es deseable proporcionar un método y sistema para controlar un motor para abordar al menos algunos de los problemas mencionados anteriormente.

**BREVE DESCRIPCIÓN**

La presente invención proporciona un método para controlar un motor como se ha definido en la reivindicación 1 y un sistema de control como se ha definido en la reivindicación 10.

35 De acuerdo con una realización descrita en este documento, se ha proporcionado un método para controlar un motor. El método incluye obtener a través de una unidad de señal las señales eléctricas del motor. Las señales eléctricas incluyen un par motor y una velocidad angular. El método incluye además calcular mediante el componente de cálculo un ángulo de fase de tensión de un vector de tensión. Un par de control, el par motor, la velocidad angular y una amplitud de tensión del vector de tensión son entradas del componente de cálculo. El ángulo de fase de tensión es una variable y la amplitud de tensión es una constante. El par motor generado a partir del motor cambia linealmente con respecto al ángulo de fase de tensión en un cierto valor de la velocidad angular del motor y un cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión. El método modula además mediante un modulador el ángulo de fase de tensión y la amplitud de tensión a una señal de conmutación que controla un inversor. El método incluye además convertir mediante el inversor una tensión de corriente continua al vector de tensión de acuerdo con la señal de conmutación y aplicar el vector de tensión al motor.

45 De acuerdo con otra realización descrita en este documento, se ha proporcionado un método para controlar un par motor generado a partir de un motor. El método incluye fijar una amplitud de tensión de un vector de tensión emitido desde un inversor. El método incluye además cambiar un ángulo de fase de tensión del vector de tensión para controlar el par motor. El par motor cambia linealmente con respecto al ángulo de fase de tensión en un cierto valor de una velocidad angular del motor y un cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión.

50 De acuerdo con otra realización descrita en este documento, se ha proporcionado un sistema de control para controlar un motor. El sistema de control incluye una unidad de señal para emitir señales eléctricas del motor. Las señales eléctricas incluyen un par motor y una velocidad angular. El sistema de control incluye además un controlador acoplado a la unidad de señal. El controlador tiene un componente de cálculo para calcular un ángulo de fase de tensión de un vector de tensión. Las entradas del componente de cálculo incluyen un par de control, el par motor, la velocidad angular y

una amplitud de tensión del vector de tensión como una constante. Una salida del componente de cálculo es el ángulo de fase de tensión. El par motor cambia linealmente con respecto al ángulo de fase de tensión en un cierto valor de la velocidad angular del motor y un cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión.

#### DIBUJOS

- 5 Estas y otras características, aspectos, y ventajas de la presente descripción resultarán mejor comprendidos cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que caracteres similares representan partes similares a lo largo de los dibujos, en los que:

La fig. 1 es un diagrama de bloques básico esquemático de un sistema de motor de acuerdo con una realización ejemplar;

- 10 La fig. 2 es un diagrama de bloques de un componente de cálculo ejemplar en un controlador para utilizar en el sistema de motor de la fig. 1; y

La fig. 3 es un diagrama de bloques de otro componente de cálculo ejemplar en un controlador para utilizar en el sistema de motor de la fig. 1.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 15 A menos que se defina lo contrario, los términos técnicos y científicos utilizados en este documento tienen el mismo significado que el que es entendido comúnmente por un experto en la técnica a la que pertenece esta descripción. Los términos “primero”, “segundo”, y similares, como son utilizados en este documento no indican ningún orden, cantidad, o importancia, sino que en su lugar son utilizados para distinguir un elemento de otro. También, los términos “un”, “uno” y “una” no indican una limitación de cantidad, sino que en su lugar indican la presencia de al menos uno de los artículos referenciados. La utilización de “que incluye”, “que comprende” o “que tiene” y variaciones de los mismos en este documento significa que abarcan los artículos enumerados en lo sucesivo y equivalentes de los mismos así como artículos adicionales. Los términos “conectado” y “acoplado” no están restringidos a conexiones o acoplamientos físicos o mecánicos, y pueden incluir conexiones o acoplamientos eléctricos, ya sean directos o indirectos.

- 25 La fig. 1 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 100 de motor de acuerdo con una realización ejemplar. En la fig. 1, el sistema 100 de motor incluye generalmente un motor 10 y un sistema 200 de control que controla el motor 10. El sistema 200 de control incluye un inversor 20 acoplado al motor 10, una fuente de alimentación 30 de corriente continua (CC) acoplada al inversor 20, un modulador 40 acoplado al inversor 20, un controlador 50 acoplado al modulador 40, y una unidad 60 de señal acoplada al controlador 50.

- 30 La unidad 60 de señal está configurada para obtener señales eléctricas del motor 10. Las señales eléctricas comprenden un par motor,  $T_{em}$ , y una velocidad angular,  $\omega$ , del motor 10 además de otros tales como corrientes de motor y tensiones de motor. Algunas señales eléctricas tales como corrientes de motor y tensiones de motor son adquiridas solo a través de la detección y algunas señales eléctricas tales como el par motor,  $T_{em}$ , y la velocidad angular,  $\omega$ , pueden ser adquiridas a través de la detección o del cálculo. En una realización, el sistema 200 de control comprende al menos un sensor (no mostrado) acoplado al motor 10 y la unidad 60 de señal tiene un componente 601 de adquisición acoplado al sensor. Los sensores están configurados para detectar las señales eléctricas del motor 10. El componente de adquisición 601 está configurado para recibir las señales eléctricas, convertir las señales eléctricas a datos que pueden ser procesados por el controlador 50 y proporcionar los datos al controlador 50. El par motor,  $T_{em}$ , y la velocidad angular,  $\omega$ , son adquiridos a través de la detección.

- 40 En otra realización, la unidad 60 de señal comprende además un procesador 602 de señal acoplado al componente 601 de adquisición y al controlador 50 para calcular las señales eléctricas basándose en parámetros del motor 10 tales como el número de pares de polos, inductancias, enlace de flujo, etc. Los sensores detectan las corrientes de motor, las tensiones de motor, etc, y luego el componente 601 de adquisición las proporciona al procesador 602 de señal. El procesador 602 de señal calcula el par motor,  $T_{em}$ , y la velocidad angular,  $\omega$ , basándose en las corrientes de motor, las tensiones de motor, etc.

- 45 El par motor,  $T_{em}$ , y la velocidad angular,  $\omega$ , son introducidos en el controlador 50. El controlador 50 está configurado para proporcionar un ángulo  $\phi$  de fase de tensión, y una amplitud de tensión,  $V$ , de un vector de tensión al modulador 40. El ángulo  $\phi$  de fase de tensión, es una variable y la amplitud de tensión,  $V$ , es una constante. El controlador 50 tiene un componente de cálculo configurado para calcular el ángulo  $\phi$  de fase de tensión. Las entradas del componente de cálculo comprenden un par de control,  $T_{cmd}$ , el par motor,  $T_{em}$ , la velocidad angular  $\omega$  y la amplitud de tensión,  $V$ , del vector de tensión. Un valor calculado del ángulo  $\phi$  de fase de tensión, es introducido de nuevo al componente de cálculo para calcular otro valor del  $\phi$  de la fase de tensión.

- 55 El modulador 40 está configurado para modular el ángulo  $\phi$  de fase de tensión y la amplitud de tensión,  $V$ , a una señal de conmutación que controla el inversor 20. Una señal de tensión emitida desde el inversor 20 puede ser considerada el vector de tensión. El inversor 20 convierte una tensión de CC de la fuente de alimentación 30 de CC al vector de tensión aplicado al motor 10 de acuerdo con la señal de conmutación. El vector de tensión emitido desde el inversor 20 es una

tensión de onda rectangular. El motor 10 es un motor de corriente alterna (CA) que genera el par motor,  $T_{em}$ , para accionar las ruedas de un vehículo híbrido o de un vehículo eléctrico. El motor 10 es un motor de múltiples fases tal como un motor de Imán Permanente (PM) trifásico, otro motor de PM de múltiples fases, un motor de inducción trifásico, otro motor de inducción de múltiples fases, etc.

5 La fig. 2 es un diagrama de bloques de un componente de cálculo ejemplar. El componente de cálculo calcula un ángulo  $\varphi$  de fase de tensión de tal modo que el motor 10 puede emitir el par motor,  $T_{em}$ , siendo igual o aproximándose al par de control,  $T_{cmd}$ . La amplitud de tensión,  $V$ , es fijada y el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, es cambiado para controlar el par motor,  $T_{em}$ . El componente de cálculo incluye un sumador 51, un módulo de función 52, un multiplicador 53 y un integrador 54.

10 El sumador 51 calcula una desviación de par,  $\Delta T$ , entre el par de control,  $T_{cmd}$ , y el par motor  $T_{em}$ . La velocidad angular,  $\omega$ , la amplitud de tensión,  $V$ , y el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, son introducidos en el módulo de función 52 para calcular un valor de la función de ganancia,  $K(\omega, \varphi)$ , a partir de las siguientes ecuaciones (1):

$$K(\omega, \varphi) = \frac{C\omega^2}{2B \cos 2\varphi - A\omega \sin \varphi}$$

$$A = \frac{3}{2} P_n V \psi_f L_q, \quad B = \frac{3}{2} P_n V^2 (L_d - L_q), \quad C = 2L_d L_q \quad (1)$$

15 Dónde  $P_n$  es el número de pares de polos del motor 10,  $\psi_f$  es un enlace de flujo del motor 10,  $L_d$ , y  $L_q$ , son inductancias de eje-dq del motor 10.  $P_n$ ,  $\psi_f$ ,  $L_d$ , y  $L_q$  son constantes. La velocidad angular,  $\omega$ , y el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, son variables. La amplitud de tensión,  $V$ , es fijada en un valor máximo de una tensión de onda fundamental de la tensión de onda rectangular. La amplitud de tensión,  $V$ , es igual a  $\frac{2}{\pi} V_{cc}$ , dónde  $V_{cc}$  es una tensión de CC emitida desde la fuente de alimentación 30 de CC.

20 El multiplicador 53 está acoplado al sumador 51 y al módulo de función 52 y multiplica la desviación de tensión,  $\Delta T$ , y el valor de la función de ganancia,  $K(\omega, \varphi)$ , para obtener una derivada del ángulo de fase de tensión con respecto al tiempo  $\frac{d\varphi(t)}{dt}$  expresado por la siguiente expresión (2):

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = K(\omega, \varphi) \Delta T \quad (2)$$

La expresión (2) puede ser convertida en Expresión (3):

$$25 \quad \frac{d\varphi(t)}{dt} = K(\omega, \varphi) \frac{dT_{em}}{dt} \quad (3)$$

El integrador 54 está acoplado al multiplicador 53 e integra la derivada del ángulo de fase de tensión,  $\frac{d\varphi(t)}{dt}$ , para obtener el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión. El ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, es ajustado basándose en la desviación de par,  $\Delta T$ , del par motor,  $T_{em}$ , desde el par de control,  $T_{cmd}$ , con la función de ganancia,  $K(\omega, \varphi)$ . El componente de cálculo comprende además un compensador proporcional-integral 55 acoplado al integrador 54 para acelerar la convergencia integral.

El par motor  $T_{em}$  generado desde el motor 10 cambia aproximadamente una curva sinusoidal con el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, bajo un cierto valor de la velocidad angular,  $\omega$ . De este modo el par motor,  $T_{em}$ , cambia linealmente con respecto al ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, en un cierto valor de la velocidad angular,  $\omega$ , del motor 10 y un cierto rango monótono del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión. El cierto rango monótono del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, varía con la velocidad angular  $\omega$ . Para diferentes velocidades angulares  $\omega$ , los rangos monótonos del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, son diferentes. Sin embargo, en un período de muestreo de corto tiempo, la velocidad angular,  $\omega$ , puede verse como una constante. El cierto rango monótono del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, es obtenido a partir de la siguiente desigualdad (4) en la que una derivada del par motor con respecto al ángulo de fase de tensión es igual o mayor que cero.

$$35 \quad \frac{\partial T_{em}}{\partial \varphi} \geq 0 \quad (4)$$

40 La siguiente desigualdad (5) puede derivarse de la desigualdad (4).

$$\frac{\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 8((L_d - L_q)V)^2}}{4(L_d - L_q)V} \leq \text{sen}\varphi \leq \frac{\psi_f \omega L_q + \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 8((L_d - L_q)V)^2}}{4(L_d - L_q)V} \quad (5)$$

El cierto rango monótono del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, es simétrico con  $\frac{\pi}{2}$ , así

$$\varphi_{\min} = \arcsen \frac{\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 8((L_d - L_q)V)^2}}{4(L_d - L_q)V}$$

$$\varphi_{\max} = \pi - \varphi_{\min} \quad (6)$$

- 5 El ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, es limitado en el cierto rango monótono para asegurar la estabilidad del par motor,  $T_{em}$ .  
Para asegurar el par motor,  $T_{em}$ , la estabilidad, la función de ganancia,  $K(\omega, \varphi)$ , es mayor que cero, lo que conduce a:

$$\frac{-\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)} \leq \text{sen}\varphi \leq \frac{-\psi_f \omega L_q + \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)} \quad (7)$$

- 10 La fig. 3 es un diagrama de bloques de otra realización de un componente de cálculo. En esta realización, el componente de cálculo comprende además tres limitadores 56, 57 y 58. El par de control,  $T_{cmd}$ , es limitado a través de un primer limitador 56 por un par máximo disponible,  $T_M$ , del motor 10 antes de calcular la desviación de par,  $\Delta T$ . El ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, emitido desde el compensador proporcional-integral 55 es limitado mediante un segundo limitador 57 por el  $\varphi_{\max}$  y el  $\varphi_{\min}$  para asegurar el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, en el rango monótono. Antes de introducir el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, en la función de ganancia,  $K(\omega, \varphi)$ , se calcula un valor del seno del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, y se limita el valor del seno a través de un tercer limitador 58 por  $\text{sen}\varphi_{\max}$  y  $\text{sen}\varphi_{\min}$ , en donde  $\text{sen}\varphi_{\max}$  y  $\text{sen}\varphi_{\min}$  obtenidos a  
15 partir de la desigualdad (7) son expresados por las siguientes ecuaciones (8):

$$\text{sen}\varphi_{\max} = \frac{-\psi_f \omega L_q + \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)}$$

$$\text{sen}\varphi_{\min} = \frac{-\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)} \quad (8)$$

de modo que aseguran que la función de ganancia,  $K(\omega, \varphi)$ , es mayor que cero.

- 20 El componente de cálculo comprende además un sistema 59 de alimentación hacia delante paralelo al sumador 51, el multiplicador 53, el integrador 54 y el compensador proporcional-integral 55. El par de control,  $T_{cmd}$ , también es introducido en el sistema 59 de alimentación hacia delante y una salida del sistema 59 de alimentación hacia delante es añadida por una salida del compensador proporcional-integral 55 para obtener el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión. El sistema 59 de alimentación hacia delante utiliza una tabla de búsqueda de alimentación hacia delante para minimizar el tiempo de cálculo.
- 25 El par motor,  $T_{em}$ , es controlado solo a través de la regulación del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, ya que la amplitud de tensión,  $V$ , es fijada, de modo que es fácil controlar el par motor,  $T_{em}$ , y accionar el motor 10. La amplitud de tensión,  $V$ , es fijada en el valor máximo de la tensión de onda fundamental de la tensión de onda rectangular, así es fácil elegir el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, para asegurar el par motor máximo. De este modo, se mejora la tasa de utilización de tensión de bus de CC. Adicionalmente, el par motor,  $T_{em}$ , cambia linealmente con respecto al ángulo  $\varphi$  de fase de  
30 tensión, en un cierto valor de la velocidad angular,  $\omega$ , y un cierto rango monótono del ángulo  $\varphi$  de fase de tensión, de modo que sea rápido y continuo controlar el par motor,  $T_{em}$ .

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para controlar un motor, comprendiendo el método:
  - obtener señales eléctricas del motor (10) con una unidad (60) de señal, comprendiendo las señales eléctricas un par motor y una velocidad angular;
  - 5        calcular un ángulo de fase de tensión de un vector de tensión con un componente de cálculo (50), en el que un par de control, el par motor, la velocidad angular y una amplitud de tensión del vector de tensión son entradas del componente de cálculo, en el que el ángulo de fase de tensión es una variable y la amplitud de tensión es una constante; caracterizado por
    - 10        limitar a través de un primer limitador (56) el par de control mediante un par máximo de curva disponible del motor;
    - limitar a través de un segundo limitador (57) el ángulo de fase de tensión  $\varphi$  por  $\varphi_{\max}$  y  $\varphi_{\min}$  para asegurar que el ángulo de fase de tensión  $\varphi$  está en un rango monótono;
    - limitar a través de un tercer limitador (58) un valor del seno del ángulo de fase de tensión a través de un tercer limitador (58) por  $\text{sen}\varphi_{\max}$  y  $\text{sen}\varphi_{\min}$ , para asegurar que una función de ganancia  $K(\omega, \varphi)$  es mayor que cero;
    - 15        modular, con un modulador (40), el ángulo de fase de tensión y la amplitud de tensión para formar una señal de conmutación para controlar un inversor (20);
      - convertir con el inversor (20) una tensión de corriente continua al vector de tensión de acuerdo con la señal de conmutación; y
      - aplicar el vector de tensión al motor (10);
      - 20        en el que el par motor generado desde el motor cambia linealmente con respecto al ángulo de fase de tensión en un cierto valor de la velocidad angular del motor (10) dependiendo de la velocidad angular  $\omega$  y del cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión obtenido a partir de una derivada del par motor con respecto al ángulo de fase de tensión.
  2. El método de la reivindicación 1, en el que el vector de tensión emitido desde el inversor es una tensión de onda rectangular y la amplitud de tensión es fijada en un valor máximo de una tensión de onda fundamental de la tensión de onda rectangular.
  3. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que el cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión varía con la velocidad angular.
  4. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la derivada del par motor es igual o mayor que cero.
  - 30    5. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el ángulo de fase de tensión es ajustado basándose en una desviación de par del par motor a partir del par de control con una función de ganancia.
  6. El método de la reivindicación 5, en el que la función de ganancia es mayor que cero.
  7. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el proceso de cálculo comprende limitar mediante un limitador el par de control por un par máximo disponible del motor.
  - 35    8. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el proceso de cálculo comprende además introducir el par de control a un sistema de alimentación hacia delante.
  9. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
    - fijar una amplitud de tensión del vector de tensión emitido desde el inversor (20); y
    - cambiar el ángulo de fase de tensión de dicho vector de tensión para controlar el par motor.
  - 40    10. Un sistema de control para controlar un motor, comprendiendo el sistema de control:
    - una unidad (60) de señal para emitir señales eléctricas del motor, comprendiendo la señales eléctricas un par motor y una velocidad angular; y
    - un controlador (50) acoplado a la unidad (60) de señal y que tiene un componente de cálculo para calcular un ángulo de fase de tensión de un vector de tensión, en el que entradas del componente de cálculo comprenden un par de control, el par motor, la velocidad angular y una amplitud de tensión de dicho vector de tensión como una constante y en el que una salida del mismo es el ángulo de fase de tensión; caracterizado por
    - 45

un primer limitador (56) para limitar el par de control mediante un par de curva máxima disponible del motor;

un segundo limitador (57) para limitar el ángulo  $\varphi$  de fase de tensión por  $\varphi_{\max}$  y  $\varphi_{\min}$  para asegurar que el ángulo de fase de tensión  $\varphi$  está en un rango monótono;

5 un tercer limitador (58) para limitar un valor del seno del ángulo de fase de tensión a través de un tercer limitador (58) por  $\text{sen}\varphi_{\max}$  y  $\text{sen}\varphi_{\min}$ , para asegurar que una función de ganancia  $K(\omega, \varphi)$  es mayor que cero;

10 en el que el par motor cambia linealmente con respecto al ángulo de fase de tensión en un cierto valor de la velocidad angular del motor dependiendo de la velocidad angular  $\omega$  y un cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión, en el que el cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión varía con la velocidad angular y en el que el cierto rango monótono del ángulo de fase de tensión es obtenido a partir de una derivada del par motor con respecto al ángulo de fase de tensión, en el que la derivada del par motor es igual o mayor que cero.

11. El sistema de control de la reivindicación 10, que comprende además un modulador (40) acoplado al controlador (50) para modular el ángulo de fase de tensión y la amplitud de tensión para formar una señal de conmutación y un inversor (20) acoplado al modulador (40) y controlado por la señal de conmutación para convertir una tensión de corriente continua a dicho vector de tensión aplicado al motor.

15 12. El sistema de control de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en el que el componente de cálculo comprende:

un sumador (51) para calcular una desviación de par entre el par de control y el par motor;

un módulo de función en el que la velocidad angular, la amplitud de tensión y el ángulo de fase de tensión son introducidos para calcular un valor de una función de ganancia;

20 un multiplicador (53) acoplado al sumador y al módulo de función de ganancia para multiplicar la desviación de par y el valor de la función de ganancia para obtener una derivada del ángulo de fase de tensión con respecto al tiempo; y

un integrador (54) acoplado al multiplicador para integrar dicha derivada del ángulo de fase de tensión para obtener el ángulo de fase de tensión.

25 13. El sistema de control de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que el componente de cálculo comprende además un compensador proporcional-integral (55) acoplado al integrador (54) para acelerar la convergencia integral.

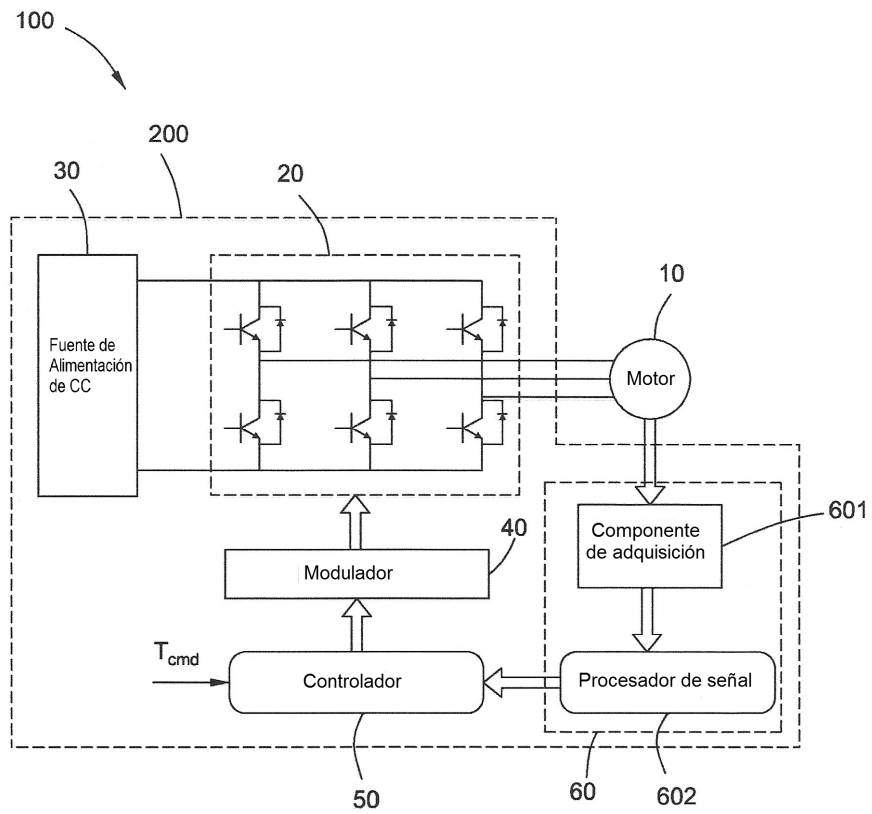


FIG. 1



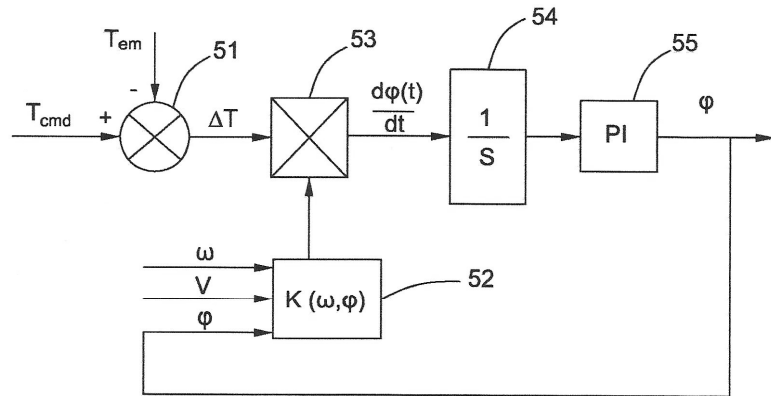


FIG. 2

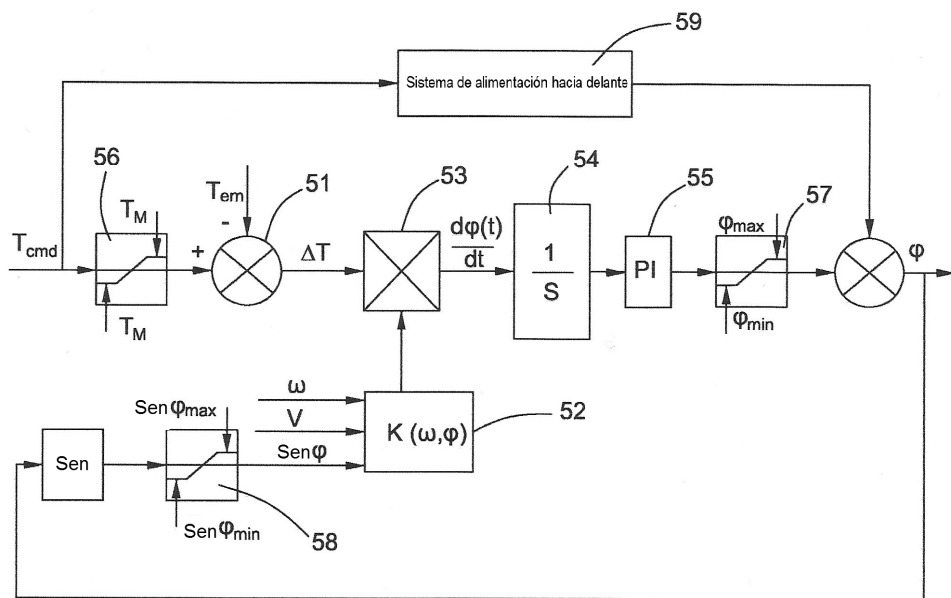


FIG. 3