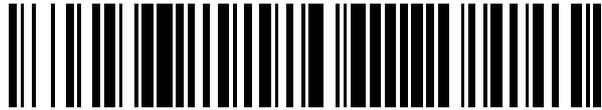


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 967**

51 Int. Cl.:

H02P 21/00 (2006.01)

H02P 27/04 (2006.01)

H02P 21/02 (2006.01)

H02P 21/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2006 E 06810559 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2013 EP 2068438**

54 Título: **Dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2013

73 Titular/es:

**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION (100.0%)
7-3, MARUNOUCHI 2-CHOME CHIYODA-KU
TOKYO 100-8310, JP**

72 Inventor/es:

KITANAKA, HIDETOSHI

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 424 967 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

Dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente, y más en particular a un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente provisto de una unidad de generación de consignas de corriente que puede obtener, mediante el uso de una expresión matemática sencilla, una consigna de corriente de eje d i_d^* y una consigna de corriente de eje q i_q^* capaces de realizar el control por par máximo.

Antecedentes de la técnica

15 La tecnología del control vectorial de un motor síncrono con imán permanente mediante el uso de un inversor se utiliza ampliamente en los campos industriales; al actuar por separado sobre la amplitud y la fase de la tensión de salida del inversor, se actúa de forma óptima sobre el vector de corriente del motor de manera tal que se controla de forma instantánea el par del motor a altas velocidades. Dado que, en comparación con un motor de inducción, el flujo magnético está asegurado por un imán permanente, no se requiere corriente de excitación, y dado que no fluye corriente en el rotor, no se produce pérdida secundaria en el cobre; por lo tanto, se considera que un motor síncrono con imán permanente es un motor de alta eficiencia, y en los últimos años se ha estudiado la aplicación de un motor síncrono con imán permanente a un dispositivo de control de vehículo eléctrico. Se sabe que, en un motor síncrono con imán permanente de imán integrado (es decir, una máquina síncrona con imán permanente interior, abreviado en lo sucesivo como IPMSM, por sus siglas en inglés) que, entre los motores síncronos de imán permanente, ha atraído la atención pública en los últimos años, su par motor se obtiene eficazmente al utilizar el par de reluctancia, producido por la diferencia entre los valores de resistencia magnética del rotor, además del par producido por el flujo magnético originado por un imán permanente.

30 Sin embargo, se sabe que, en una IPMSM, existen un gran número de combinaciones de corriente de eje d y de corriente de eje q para generar un par dado. Además, se sabe que las características de una IPMSM tales como la amplitud de la corriente que fluye en la IPMSM, el factor de potencia, la pérdida en el hierro y la pérdida en el cobre cambian en gran medida en función de las amplitudes respectivas de la corriente de eje d y de la corriente de eje q , es decir, de la selección del vector de corriente. En consecuencia, para hacer funcionar eficazmente una IPMSM, se requiere seleccionar un vector de corriente apropiado de acuerdo con la aplicación, y actuar sobre el mismo. Es decir, en un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente, se precisa generar un consigna de corriente adecuada para controlar instantáneamente el vector de la corriente eléctrica que fluye al motor, de manera que el vector de corriente satisfaga las condiciones deseadas que se describen a continuación; por lo tanto, es importante en términos de la configuración de un sistema la manera en que se configure una unidad de generación de consignas de corriente que genere una consigna de corriente a partir de una consigna de par.

40 Los métodos para seleccionar una consigna de corriente incluyen un método en donde se maximice la eficiencia de un motor, un método en donde se haga valer "1" al factor de potencia del motor, un método en donde se maximice el par obtenido con un determinado flujo magnético de enlace, un método en donde se maximice el par obtenido con una determinada corriente aplicada al motor eléctrico, y similares; sin embargo, en términos de su aplicación a un dispositivo de control de vehículo eléctrico, el método en donde se maximiza el par obtenido con una corriente dada (denominado en lo sucesivo "control por par máximo") resulta óptimo, ya que, al utilizar este método, se puede minimizar la intensidad nominal de un inversor al tiempo que se logra un funcionamiento muy eficiente del motor, con lo cual también se puede minimizar la pérdida en el inversor.

50 Como tecnología convencional relacionada, el documento de patente número 1 describe un método en el cual se miden preliminarmente, y se traza el mapa de sus correlaciones, los respectivos valores óptimos de corriente de eje d i_d y de corriente de eje q i_q correspondientes a diversos tipos de valores de par de un motor; durante el funcionamiento del motor, se recurre al mapa, cuando es necesario, en respuesta a una consigna de par, y se obtienen una consigna de corriente de eje d i_d^* y una consigna de corriente de eje q i_q^* correspondientes a la consigna de par; a continuación, se realiza el control de corriente de tal modo que las intensidades eléctricas correspondan a la consigna de corriente de eje d i_d^* y a la consigna de corriente de eje q i_q^* .

[Documento de patente número 1] Solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública número 2006-121855.

60 La optimización de la relación entre par motor e intensidad para máquinas síncronas excitadas por imán permanente basada en trayectorias de corriente predefinidas es un objeto de los documentos US20040364434, US2006055363 y US2004189243.

Exposición de la Invención

65

Problemas a ser resueltos por la Invención

5 Sin embargo, el método en el cual se recurre a un mapa no es preferible porque, para crear el mapa, se requiere un paso de trabajo en cual se midan las corrientes eléctricas mientras se hace funcionar un motor con diversos tipos de valores de par, y luego se eligen combinaciones óptimas de una corriente de eje d i_d y una corriente de eje q i_q , de manera que se necesita un tiempo y trabajo considerables para crear el mapa, y porque el montaje del mapa en un dispositivo real de control vectorial no se puede llevar a cabo fácilmente, por ejemplo por la razón de que el mapa llega a tener una gran tamaño y se hace complicado, por lo que se requiere una gran capacidad de memoria para almacenar el mapa.

10 La presente invención ha sido llevada a cabo para resolver los problemas anteriores; su objetivo es proporcionar un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente que incluya una unidad de generación de consignas de corriente que pueda obtener, mediante el uso de una expresión de cálculo sencilla, una consigna de corriente de eje d i_d^* y una consigna de corriente de eje q i_q^* con las cuales se pueda realizar el control por par máximo, sin utilizar ningún mapa, y que puede ser montada fácilmente en un dispositivo real de control vectorial.

15 Medios para resolver los problemas

Estos objetos se resuelven mediante las características de la reivindicación de dispositivo 1. Las reivindicaciones dependientes exponen realizaciones ventajosas de la invención.

20 Ventajas de la Invención

25 Un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente de acuerdo con la presente invención hace posible realizar el control por par máximo mediante el uso de una expresión de cálculo sencilla, sin utilizar ningún mapa, y obtener en una región de altas velocidades la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* que permiten el control en un flujo magnético debilitado; por tanto, se puede conseguir un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente que tiene una unidad de generación de consignas de corriente que puede ser montada fácilmente en un dispositivo real de control vectorial.

30 Breve descripción de los dibujos

35 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra la configuración de un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente de acuerdo con la Realización 1 de la presente invención; la Figura 2 es una gráfica que representa la relación entre la curva de par y la curva que expresa la condición de corriente mínima, de acuerdo con la Realización 1 de la presente invención; la Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra la configuración de una unidad de generación de consignas de corriente según la Realización 1 de la presente invención; y la Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra la configuración de una unidad de generación de consignas de corriente de acuerdo con la Realización 2 de la presente invención.

40 Descripción de las referencias numéricas

45 1: CONDENSADOR
2: INVERSOR
3, 4, 5: DETECTOR DE CORRIENTE
6: MOTOR
7: RESOLVEDOR
8: DETECTOR DE TENSION
10: UNIDAD DE GENERACIÓN DE CONSIGNAS DE CORRIENTE
11: UNIDAD DE GENERACIÓN DE CONSIGNA BASICA DE CORRIENTE DE EJE D
50 12: UNIDAD LIMITADORA
13: CIRCUITO DE VALOR ABSOLUTO
14: SUMADOR (UNIDAD DE COMPENSACIÓN DE CONSIGNA DE CORRIENTE DE EJE D)
15, 15A: UNIDAD DE GENERACIÓN DE CONSIGNA DE CORRIENTE DE EJE Q
20: UNIDAD DE CONTROL DE CORRIENTE
55 100: DISPOSITIVO DE CONTROL VECTORIAL

Mejor modo de llevar a cabo la Invención

60 Realización 1

65 La Figura 1 es un diagrama que ilustra la configuración de un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente de acuerdo con la Realización 1 de la presente invención. Tal como se ilustra en la Figura 1, el circuito principal del dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente de acuerdo con la Realización 1 está configurado con un condensador 1 que sirve como fuente de alimentación de corriente continua, un inversor 2 que convierte una tensión de corriente continua a través del condensador 1 a una tensión de corriente alterna de una frecuencia arbitraria, y un motor síncrono con imán permanente (denominado en lo sucesivo

5 simplemente "motor"), 6. En el circuito se ha dispuesto un detector 8 de tensión que detecta la tensión a ambos lados del condensador 1, y detectores de corriente 3, 4 y 5 que detectan las intensidades i_w , i_v e i_u , respectivamente, en las líneas de salida del inversor 2; en el motor 6 se ha dispuesto un resolvidor 7 que detecta la información θ_m de posición del rotor; las señales de detección respectivas son alimentadas a un dispositivo 100 de control vectorial.

10 Además, el resolvidor 7 puede ser reemplazado por un codificador, o bien se puede reemplazar una señal de posición obtenida por medio del resolvidor 7 por, en su lugar, una señal de posición obtenida por un método sin sensor en el cual se calcule la señal de posición basándose en un voltaje y una intensidad; en tales casos no es necesario el resolvidor 7. En otras palabras, el método para obtener una señal de posición no se limita al método en el cual se utiliza el resolvidor 7. Además, en lo referente a los detectores de corriente 3, 4 y 5, cuando se proporcionan detectores de corriente para al menos dos fases, la intensidad de la fase restante se puede conseguir mediante cálculo; así, el dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente puede estar configurado la manera que se ha descrito anteriormente. Las intensidades de salida del inversor 2 se pueden obtener por reproducción a partir de las intensidades en el lado de corriente continua del inversor 2.

15 Las señales U, V, W, X, Y, y Z de puerta generadas por el dispositivo 100 de control vectorial son alimentadas al inversor 2 de modo que los elementos de conmutación incorporados en el inversor 2 están controlados por PWM (modulación por amplitud de pulso, por sus siglas en inglés). Preferiblemente se utiliza como inversor 2 una fuente de tensión PWM; puesto que la configuración de la misma es de conocimiento público, se omitirá su explicación detallada. Una consigna T^* de par es introducida en el dispositivo 100 de control vectorial desde un dispositivo de control de mayor jerarquía, no ilustrado; el dispositivo 100 de control vectorial controla el inversor 2 de modo que el par generado por el motor 6 coincida con la consigna T^* de par.

20 A continuación se explicará la configuración del dispositivo 100 de control vectorial. El dispositivo 100 de control vectorial está configurado con una unidad 10 de generación de consignas de corriente y una unidad 20 de control de corriente.

25 La unidad 10 de generación de consignas de corriente, que constituye una parte principal de la presente invención, tiene la función de recibir la consigna T^* de par y una cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d, y generar una consigna de corriente de eje d i_d^* y una consigna de corriente de eje q i_q^* . La cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d es una cantidad destinada a la corrección de la consigna de corriente de eje d con la finalidad de hacer funcionar el motor 6 con un flujo magnético debilitado de modo que, en una región de altas velocidades, la tensión inducida del motor 6 no supere la tensión máxima de salida del inversor 2. Como ejemplo de método de cálculo de la cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d existe, por ejemplo, una tecnología conocida públicamente en la cual, en caso de que la consigna de tensión al motor 6 supere cierto valor predeterminado, se genera la cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d (que se hace menor que cero) de acuerdo con la cantidad en exceso; sin embargo, puesto que la configuración específica de la misma no es objeto de la presente memoria, se omitirá su explicación. Además, puesto que la unidad 10 de generación de consignas de corriente es la parte principal de la presente invención, la explicación de ésta se proporcionará más adelante.

30 La unidad 20 de control de corriente recibe la tensión de corriente continua EFC con destino al inversor 2 y la información θ_m de posición relativa al motor 6, y convierte las intensidades i_u , i_v , y i_w del motor eléctrico sobre los ejes estáticos trifásicos detectados en el lado de salida del inversor 2, a una corriente de eje d i_d y una corriente de eje q i_q , que son corrientes eléctricas convertidas en cantidades sobre las coordenadas dq que giran en sincronía con el ángulo eléctrico de giro del motor. Además, la unidad 20 de control de corriente tiene la función de decidir la conmutación encendido/apagado de las señales U, V, W, X, Y, y Z de puerta alimentadas al inversor 2 de modo que la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q coincidan respectivamente con la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* , generadas por la unidad 10 de generación de consignas de corriente. Además, se pueden aplicar a la configuración de la unidad 20 de control de corriente un gran número de tecnologías públicamente conocidas; por lo tanto, se omitirá su explicación.

35 Se explicará a continuación un principio básico, que es necesario para comprender la configuración de la unidad 10 de generación de consignas de corriente que constituye la parte principal de la presente invención,

40 La condición (denominada en lo sucesivo "condición de corriente mínima") para la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q , a fin de realizar el control por par máximo, con la cual se obtiene el par máximo para una corriente eléctrica dada, la proporciona la ecuación (1) siguiente, que ya es públicamente conocida.

$$i_d = \frac{\phi_a}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\frac{\phi_a^2}{4(L_q - L_d)^2} + i_q^2} \text{ ----- (1)}$$

en donde L_d designa la inductancia de eje d (H); L_q designa la inductancia de eje q (H); ϕ_a designa el flujo magnético permanente (Wb); i_d designa la corriente de eje d (A) e i_q designa la corriente de eje q (A).

5 En el caso en que se genera un par T dado, al elegir la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q de modo que satisfagan la ecuación (1), se puede minimizar la magnitud del vector de corriente formado por i_d e i_q . En otras palabras, se puede minimizar la amplitud de la corriente en el motor 6.

Por otra parte, el par T generado por el motor 6 viene dado por la ecuación (2) siguiente.

10
$$T = P_n \{ \phi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \} \text{-----} (2)$$

en donde P_n indica el número de pares de polos del motor 6.

15 Reordenando la ecuación para despejar la corriente de eje q i_q , se obtiene la ecuación (3) siguiente

$$i_q = \frac{T}{P_n \{ \phi_a + (L_d - L_q) i_d \}} \text{-----} (3)$$

20 Resolviendo el sistema de ecuaciones compuesto por la ecuación (1) y la ecuación (3) con el fin de obtener i_d y i_q , se puede obtener la combinación de corriente de eje d i_d y corriente de eje q i_q , que puede generar el par T dado con intensidades mínimas.

25 Así, es teóricamente posible que, al tomar en las ecuaciones (1) y (3) la consigna de par T^* como par T, la consigna de corriente de eje d i_d^* como corriente de eje d i_d y la consigna de corriente de eje q i_q^* como corriente de eje q i_q , y resolver el sistema de ecuaciones compuesto por la ecuación (1) y la ecuación (3) para hallar i_d^* e i_q^* , se obtengan la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* capaces de generar, con una corriente eléctrica mínima, el par T que coincida con la consigna de par T^* .

30 La Figura 2 es una gráfica que representa la relación entre la curva de par y la curva que expresa la condición de corriente mínima, de acuerdo con la Realización 1 de la presente invención. La relación entre la curva de par y la curva que expresa la condición de corriente mínima representa las relaciones de las ecuaciones (1) y (3), con la corriente de eje d i_d como abscisa y la corriente de eje q i_q como ordenada. Cada una de las curvas que van de la parte superior derecha a la parte inferior izquierda es una curva de par dibujada al tomar el par T en el modo de tracción (= 50 Nm a 1500 Nm) como par T en la ecuación (3). La curva l_{mi} que va desde la parte superior izquierda a la parte inferior derecha es una curva que expresa la condición de corriente mínima representada por la ecuación (1); la curva l_{mi} representa la combinación de corriente de eje d i_d y corriente de eje q i_q capaz de generar el par T dado con corrientes mínimas.

35 La corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q capaces de generar el par T dado con corrientes mínimas se pueden determinar calculando el punto de intersección de la curva l_{mi} que expresa la ecuación (1) con la curva T_{or} que expresa la ecuación (3) en la Figura 2. En la Figura 2 se fijan constantes para los P_n , L_d , L_q y ϕ_a de las ecuaciones (1) y (3), que se eligen suponiendo un motor de tracción de vehículo eléctrico cuya potencia entregada es aproximadamente 300 KW.

40 Además, en el tercer cuadrante no dibujado de la Figura 2, se sitúan la curva de par y una curva que expresa la condición de corriente mínima en el caso de un período regenerativo, y corresponden a las curvas respectivas que se han dibujado de forma simétrica a las curvas del caso del período de tracción, representadas en la Figura 2, con respecto a la abscisa. En consecuencia, y por esta razón, también se pueden estimar las curvas en el caso de un período regenerativo a partir de las curvas del caso de un período de funcionamiento en tracción representado en la Figura 2. Específicamente, y tal como puede verse en la Figura 2, en el caso en que se genera un par de funcionamiento en tracción de 1300 Nm como par T, la condición de corriente mínima es la combinación de una i_d de aproximadamente -200 A y una i_q de aproximadamente 237 A; así pues, en caso de que se genere un par regenerativo de -1300 Nm como par T, la condición de corriente mínima es la combinación de una i_d de aproximadamente -200 A y una i_q de aproximadamente -237 A. Es evidente que se pueden proporcionar la curva de par y la curva que expresa la condición de corriente mínima en el caso de un período regenerativo además de las curvas en el caso de un período de funcionamiento en tracción, de manera que se obtengan una corriente de eje d y una corriente de eje q que satisfagan la condición de corriente mínima.

45 Por otra parte, para calcular el punto de intersección de la curva l_{mi} representada por la ecuación (1) con la curva T_{or} representada por la ecuación (3), se requiere resolver el sistema de ecuaciones compuesto por la ecuación (1) y la ecuación (3), con respecto a i_d e i_q ; sin embargo, como el sistema de ecuaciones genera una ecuación

bicadrática, es difícil obtener soluciones, con lo cual el montaje en un dispositivo real de control vectorial es difícil. Por consiguiente, en muchas tecnologías convencionales, tal como se ha descrito anteriormente, la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q que pueden generar el par T dado con corrientes mínimas se obtienen mediante el uso de un mapa.

5 Por el contrario, la presente invención consiste en calcular la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q que pueden generar el par T con corrientes mínimas, de acuerdo con una expresión de cálculo sencilla y sin utilizar ningún mapa. A continuación se describirá con detalle el antedicho procedimiento.

10 Se puede observar que, a pesar de ser una curva cuadrática, la curva I_{mi} de la Figura 2, que expresa la condición de corriente mínima, es casi una línea recta salvo en una región ($i_d > -50$ A, $i_q < 75$ A) en donde la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q son pequeñas. Por consiguiente, en la Figura 2 está representada por una línea de trazos una línea aproximadamente recta I_{ap} obtenida al aplicar de una aproximación lineal a la curva que expresa la condición de corriente mínima en todo su recorrido salvo en la región ($i_d > -50$ A, $i_q < 75$ A) donde la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q son pequeñas. Se puede observar en la Figura 2 que la línea aproximadamente recta I_{ap} se encuentra aproximadamente sobre la curva que expresa la condición de corriente mínima

En la aplicación para controlar un vehículo eléctrico, que es el objeto de la presente invención, el caso en donde se hace funcionar el motor 6 en una región en la cual la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q son pequeñas se limita, por ejemplo, a un funcionamiento a velocidad constante en el cual se hace funcionar el motor 6 con un par mínimo a fin de mantener la velocidad del vehículo eléctrico; por lo tanto, la frecuencia del caso antedicho dentro del tiempo de funcionamiento total es muy baja. Así pues, incluso en el caso en que se aplique una aproximación lineal a la curva que expresa la condición de corriente mínima, el motor es hecho funcionar en la mayoría de los casos en la condición de corriente mínima, por lo que no existe ningún problema práctico.

25 Tomando en la Figura 2 la línea recta aproximada en lugar de la curva, la expresión de la condición de corriente mínima viene dada por la ecuación (4) siguiente.

$$i_q = ai_d + b \text{ ----- (4)}$$

30 En el ejemplo de la Figura 2, la pendiente a de la recta es -1,0309, y la ordenada en el origen b es 30,0. En caso de utilizar la línea recta aproximada de la ecuación (4), la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q capaces de generar el par T dado con corrientes mínimas se pueden obtener calculando el punto de intersección de la curva I_{ap} que expresa la condición de corriente mínima, con la curva T_{or} ; la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q se pueden obtener resolviendo el sistema de ecuaciones compuesto por la ecuación (3) y la ecuación (4). El sistema de ecuaciones origina una ecuación cuadrática que se puede resolver fácilmente. Reordenando las ecuaciones (3) y (4), se pueden obtener las ecuaciones (5) siguientes.

$$\{aP_n(L_d - L_q)\}i_d^2 + \{(aP_n\phi_a) + bP_n(L_d - L_q)\}i_d + bP_n\phi_a - T = 0 \text{ ----- (5)}$$

40 Basándose en la ecuación (5), la corriente de eje d i_d viene dada por la ecuación (6) siguiente.

$$i_d = \frac{-\{(aP_n\phi_a) + bP_n(L_d - L_q)\} - \sqrt{\{(aP_n\phi_a) + bP_n(L_d - L_q)\}^2 - 4\{aP_n(L_d - L_q)\}(bP_n\phi_a - T)}}{2\{aP_n(L_d - L_q)\}} \text{ ----- (6)}$$

45 De la ecuación (6) se puede obtener la corriente de eje d i_d capaz de generar el par T dado con una corriente mínima, es decir, la corriente de eje d i_d que realiza el control por par máximo. Sustituyendo la i_d dada por la ecuación (6) en lugar de la i_d de la ecuación (3), se obtiene la corriente de eje q.

50 Además, se pueden obtener preliminarmente a y b de la ecuación (6), tal como se representa en la Figura 2, a partir de la línea recta aproximada a la curva que expresa la condición de corriente mínima representada en la ecuación (1).

Lo que se ha descrito hasta ahora es la explicación del principio de un método para obtener el vector de corriente, es decir, la combinación de la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q , capaz de realizar el control por par máximo.

55

A continuación se explicará la configuración de una unidad específica 10 de generación de consignas de corriente, que es preferible para el control vectorial de un motor síncrono con imán permanente.

5 La Figura 3 es un diagrama que ilustra la configuración de una unidad 10 de generación de consignas de corriente de acuerdo con la Realización 1 de la presente invención Tal como se ilustra en la Figura 3, a partir de un valor absoluto de consigna de par T_{abs}^* obtenido haciendo pasar la consigna de par T^* a través de un circuito 13 de valor absoluto y de la pendiente a y la ordenada b en el origen de la línea recta aproximada que expresa la condición de corriente mínima representada por la ecuación (4), una unidad 11 de generación de consigna básica de corriente de eje d calcula una primera consigna básica de corriente de eje d $id1^*$, basándose en la ecuación (7) siguiente. La
 10 ecuación (7) se obtiene sustituyendo en la ecuación (6) la corriente de eje d id y el par motor T por, en su lugar, la primera consigna básica de corriente de eje d $id1^*$ y el valor absoluto de la consigna de par T_{abs}^* , respectivamente.

$$i_{d1}^* = \frac{-\{aP_n\phi_a\} + bP_n(L_d - L_q) - \sqrt{\{aP_n\phi_a\} + bP_n(L_d - L_q)\}^2 - 4\{aP_n(L_d - L_q)\}(bP_n\phi_a - T_{abs}^*)}}{2\{aP_n(L_d - L_q)\}}$$

----- (7)

15 La primera consigna básica de corriente de eje d $id1^*$ calculada de acuerdo con la ecuación (7) es introducida en una unidad limitadora 12; en caso de que $id1^*$ sea positiva, una segunda consigna básica de corriente de eje d $id2^*$, que es la salida de la unidad limitadora 12, se hace "0"; en caso de que $id1^*$ sea negativa, $id2^*$, que es la salida de la unidad limitadora 12, se hace igual a $id1^*$. En otras palabras, la unidad limitadora 12 tiene la función de limitar $id2^*$ para que no sea mayor que cero.

20 Tal como se ha descrito con anterioridad, al fijar en cero el valor límite superior de la segunda consigna básica de corriente de eje d $id2^*$, se puede evitar que, en particular en la región en donde la consigna de par T^* es pequeña (aproximadamente 50 Nm o inferior), el punto de intersección de la curva de par con la línea recta aproximada que expresa la condición de corriente mínima se produce en el primer cuadrante (no representado), con lo que allí se calculan la consigna de corriente de eje d id^* y la consigna de corriente de eje q iq^* que están muy alejadas de la
 25 condición de corriente mínima.

Desde otro punto de vista, en una región en la cual la consigna de par T^* sea pequeña, se puede realizar el tránsito automático al control en el cual se fija la id en cero, que es una tecnología públicamente conocida. Además, al
 30 utilizar en la ecuación (7) el valor absoluto de consigna de par T_{abs}^* , se hace posible obtener la primera consigna básica de corriente de eje d $id1^*$ mediante el uso de una única ecuación (7), tanto en el caso en que la salida producida sea par de funcionamiento tracción, como en el caso en que la salida sea par regenerativo; por lo tanto, el cálculo puede simplificarse.

35 A continuación, se obtiene la consigna de corriente de eje d id^* sumando la segunda consigna de corriente de eje d $id2^*$ y la cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d en un sumador 14 que sirve como unidad de compensación de consigna de corriente de eje d. La cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d es un valor por debajo de cero, que varía dependiendo del estado de funcionamiento del motor 6.

40 Tal como se ha descrito anteriormente, en caso de que la velocidad de rotación del motor sea media o baja y la tensión suministrada al motor 6 sea igual o inferior a la tensión máxima de salida del inversor 2, la cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d se hace cero, por lo que se puede obtener la consigna de corriente de eje d id^* que satisface la condición de corriente mínima; en caso de que, en una región de giro a alta velocidad, la tensión suministrada al motor 6 supere la tensión de salida máxima del inversor 2, se hace posible disminuir la
 45 consigna de corriente de eje d id^* de acuerdo con la cantidad dV de compensación de consigna de corriente de eje d, con lo cual se puede hacer funcionar el motor 6 en un flujo magnético debilitado.

Por último, en una unidad 15 de generación de consigna de corriente de eje q, al sustituir en la ecuación (8) a continuación la consigna de corriente de eje d id^* y la consigna de par T^* , se obtiene la consigna de corriente de eje q iq^* . La ecuación (8) se obtiene reemplazando la corriente de eje d id , la corriente de eje q iq y el par motor T de la ecuación (3) con, en su lugar, la consigna de corriente de eje d id^* , la consigna de corriente de eje q iq^* , y la consigna de par T^* , respectivamente.

$$i_q^* = \frac{T^*}{P_n \{ \phi_a + (L_d - L_q) i_d^* \}} \text{----- (8)}$$

55 Tal como se ha descrito más arriba, el dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente de acuerdo con la Realización 1 de la presente invención hace posible realizar el control por par máximo mediante el

5 uso de una expresión de cálculo sencilla, sin utilizar ningún mapa, y obtener en una región de altas velocidades la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* que permiten el control en un flujo magnético debilitado. El control es realizado por la unidad 20 de control de corriente de modo que las respectivas corrientes del motor 6 coinciden con la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* , por lo que se puede conseguir un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente capaz de realizar el control por par máximo del motor 6.

10 Las antedichas constantes de motor L_d , L_q y ϕ_a , y la pendiente a y la ordenada b en el origen de la línea recta aproximada, que se utilizan en las expresiones de cálculo respectivas en la unidad 10 de generación de consignas de corriente pueden ser modificadas en un instante arbitrario. Por ejemplo, es concebible que las constantes de motor antedichas L_d , L_q y ϕ_a , la pendiente a y la ordenada b en el origen sean modificadas en función de la velocidad del motor 6, la magnitud del par, la amplitud de la corriente, y las condiciones de accionamiento, por ejemplo el que se trate de un período de tracción o de un período regenerativo, o bien que las constantes de motor antedichas L_d , L_q , y ϕ_a , la pendiente a y la ordenada b en el origen sean modificadas y ajustadas de acuerdo con la consigna de par T^* , la consigna de corriente de eje d i_d^* , la consigna de corriente de eje q i_q^* , o bien la corriente de eje d y la corriente de eje q, que son valores detectados. De la manera que se ha descrito anteriormente, incluso en la región ($i_d > -50$ A, $i_q < 75$ A) de la Figura 2, en donde la corriente de eje d y la corriente de eje q son pequeñas, se puede calcular una condición de corriente mínima más precisa; por lo tanto, se puede conseguir un punto de funcionamiento más ideal.

20 En términos de asegurar la estabilidad del sistema de control, es deseable que, en el caso en que se modifiquen y se ajusten las constantes de motor L_d , L_q y ϕ_a , y la pendiente a y la ordenada b en el origen de la línea recta aproximada, no sean trasladadas directamente a la velocidad del motor 6, la magnitud del par, la amplitud de la corriente, la consigna de par T^* , y la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* , o bien la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q , sino después de ser procesadas a través de un elemento de retardo tal como un filtro de paso bajo o un circuito de retardo de primer orden. En particular, los valores de las constantes de motor L_d y L_q pueden cambiar debido al efecto de saturación magnética; por lo tanto, es deseable corregir los valores según se requiera.

30 Realización 2

La Figura 4 es un diagrama que ilustra la configuración de una unidad 10 de generación de consignas de corriente en un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente de acuerdo con la Realización 2 de la presente invención. Aquí sólo se explicarán los elementos constituyentes que difieran de los de la Realización 1 que se ilustra en la Figura 3, y se omitirán las explicaciones de elementos constitutivos similares. Tal como se ilustra en la Figura 4, en una unidad 10 de generación de consignas de corriente de acuerdo con la Realización 2, la unidad 15 de generación de consigna de corriente de eje q ha sido reemplazada por una unidad 15A de generación de consigna de corriente de eje q.

40 En la unidad 15A de generación de consigna de corriente de eje q, al sustituir la consigna de corriente de eje d i_d^* , y la pendiente a y la ordenada b en el origen, de la recta aproximada para la ecuación (9) siguiente, se obtiene la consigna de corriente de eje q i_q^* . La ecuación (9) se obtiene sustituyendo en la ecuación (4) la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q con, en su lugar, la consigna de corriente de eje d i_d^* y la consigna de corriente de eje q i_q^* , respectivamente.

45

$$i_q^* = a i_d^* + b \text{ ----- (9)}$$

50 En la realización 2, puesto que la consigna de corriente de eje q i_q^* se calcula de acuerdo con la ecuación (9), la configuración de la expresión es más simple que la de la Realización 1, en la cual se calcula i_q^* de acuerdo con la ecuación (8); por lo tanto, se puede suprimir una parte del cálculo, y así se puede utilizar un microprocesador de poco precio.

55 Las configuraciones descritas en las realizaciones precedentes son ejemplos de los aspectos de la presente invención y se pueden combinar con otras tecnologías públicamente conocidas; no hace falta decir que se pueden configurar diversas características de la presente invención, mediante la modificación, por ejemplo la omisión parcial, de realizaciones precedentes, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

60 Además, en las realizaciones precedentes, aunque la explicación de la presente invención se ha implementado considerando su aplicación a un vehículo eléctrico, el campo de aplicación de la presente invención no está limitado a ello; no hace falta decir que la presente invención se puede aplicar a diversos campos relacionados, tales como los campos de los automóviles eléctricos, ascensores y sistemas de generación eléctrica.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente, aplicado a un dispositivo de control de vehículo eléctrico, que separa una corriente eléctrica en un motor de sincronización con imán permanente, impulsado por un inversor que convierte una tensión de corriente continua en una tensión de corriente alterna de frecuencia arbitraria y proporciona como salida la tensión de corriente alterna, en una corriente de eje d id y una corriente de eje q iq que son cantidades en un eje d y un eje q, respectivamente, y giran en sincronía con un ángulo eléctrico de giro del motor de sincronización con imán permanente, y que controla la corriente de eje d id y la corriente de eje q iq, en donde el dispositivo de control vectorial comprende:

una unidad de generación de consigna de corriente que genera una consigna de corriente de eje id* y una consigna de corriente de eje iq* a partir de una consigna de par motor dada; y una unidad de control de corriente que funciona de modo que las corrientes del motor coinciden con las respectivas consignas de corriente,

en donde la unidad de generación de consignas de corriente está provista de una unidad de generación de consigna básica de eje d que utiliza la consigna de par para generar una primera consigna básica de corriente de eje d id1*; una unidad limitadora que recibe la primera consigna básica de corriente de eje d id1* y proporciona como salida un valor obtenido limitando a menos de cero la primera consigna básica de corriente de eje d id1*, en forma de una segunda consigna básica de corriente de eje d id2*; una unidad de compensación de consigna de corriente de eje d que recibe la segunda consigna básica de corriente de eje d id2* y genera como consigna de corriente de eje d id* un valor obtenido al corregir la segunda consigna básica de corriente de eje d id2* de acuerdo con un valor dV de compensación de consigna de corriente de eje d proporcionado desde la unidad de control de corriente; y una unidad de generación de consigna de corriente de eje q que genera una consigna de corriente de eje q iq* a partir de la consigna de corriente de eje d id*, y la unidad de generación de consignas de corriente genera la consigna de corriente de eje d id* y la consigna de corriente de eje q iq* capaces de generar con corrientes mínimas el par correspondiente a la consigna de par,

en donde la unidad de generación de consigna básica de corriente de eje d genera la primera consigna básica de corriente de eje d id1* al obtener un punto de intersección de una ecuación (3) siguiente que expresa la relación entre el par T, la corriente de eje d id y la corriente de eje q iq del motor con una ecuación lineal (4) siguiente que se obtiene al aplicar una aproximación lineal a una curva que expresa un estado en el cual el motor puede generar un par dado con corrientes mínima, a lo largo de un tramo de la curva que es sustancialmente una línea recta y con exclusión de una región en la cual la magnitud de la corriente de eje d y la magnitud de la corriente de eje q son pequeñas y que tiene una pendiente y una ordenada en el origen que representan la relación entre la corriente de eje d y la corriente de eje q, y en donde la primera consigna básica de corriente de eje d id1* es generada a partir de una primera ecuación (7) a continuación

$$i_q = \frac{T}{P_n \{ \phi_a + (L_d - L_q) i_d \}} \quad \text{----- (3)}$$

$$i_q = a i_d + b \quad \text{----- (4)}$$

$$i_{d1}^* = \frac{-\{a P_n \phi_a\} + b P_n (L_d - L_q) - \sqrt{\{a P_n \phi_a\} + b P_n (L_d - L_q)\}^2 - 4 \{a P_n (L_d - L_q)\} \{b P_n \phi_a - T a b s^*\}}{2 \{a P_n (L_d - L_q)\}} \quad \text{----- (7)}$$

en donde Tabs* designa el valor absoluto de la consigna de par; Ld designa la inductancia de eje d(H); Lq designa la inductancia de eje q (H); φa designa el flujo magnético permanente (Wb); Pn designa el número de pares de polos del motor; a designa la pendiente de la ecuación lineal; y b designa la ordenada en el origen de la ecuación lineal.

2. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 1, en donde una cualquiera de Ld, Lq, φa, a y b de la primera ecuación es modificada en un instante arbitrario.

3. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 1, en donde una cualquiera de Ld, Lq, φa, a y b de la primera ecuación es modificada de acuerdo con una señal que incluye la corriente de eje d id y la corriente de eje q iq del motor, la consigna de corriente de eje d id*, la consigna de corriente de eje q iq* y la consigna de par T*.

4. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 1, en donde la consigna básica de corriente de eje q iq*, es generada por sustitución de la consigna de corriente de eje d id* en una segunda ecuación a continuación.

$$i_q^* = \frac{T^*}{P_n \{ \phi_a + (L_d - L_q) i_d^* \}}$$

en donde T^* designa la consigna de par; L_d designa la inductancia de eje d (H); L_q designa la inductancia de eje q (H); ϕ_a designa el flujo magnético permanente (Wb); y P_n designa el número de pares de polos del motor.

5 El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 4, en donde una cualquiera de L_d , L_q , ϕ_a , a y b de la segunda ecuación es modificada en un instante arbitrario.

10 6. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 4, en donde una cualquiera de L_d , L_q , ϕ_a , a y b de la segunda ecuación es modificada de acuerdo con una señal que incluye la corriente de eje d i_d , y la corriente de eje q i_q del motor, la consigna de corriente de eje d i_d^* , la consigna de corriente de eje q i_q^* y la consigna de par T^* .

15 7. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 1, en donde la consigna de corriente de eje q i_q^* es generada por sustitución de la consigna de corriente de eje d i_d^* en una tercera ecuación a continuación.

$$i_q^* = a i_d^* + b$$

20 en donde a y b designan la pendiente y la ordenada en el origen, respectivamente, de la primera ecuación.

8. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 7, en donde una cualquiera de a y b de la tercera ecuación es modificada en un instante arbitrario.

25 9. El dispositivo de control vectorial de motor síncrono con imán permanente según la reivindicación 7, en donde una cualquiera de a y b de la tercera ecuación es modificada de acuerdo con una señal que incluye la corriente de eje d i_d y la corriente de eje q i_q del motor, la consigna de corriente de eje d i_d^* , la consigna de corriente de eje q i_q^* y la consigna de par T^* .

FIG.1

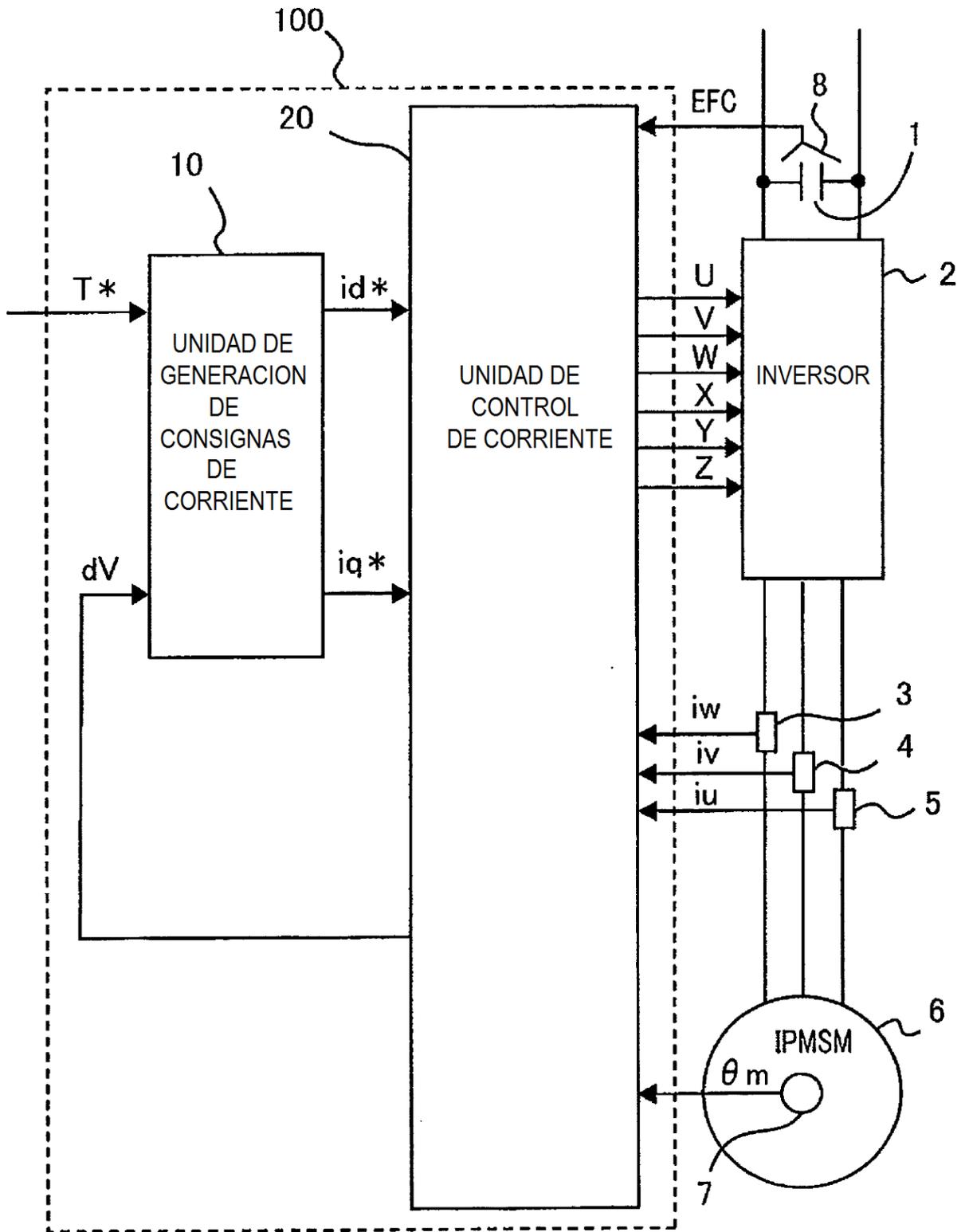


FIG.2

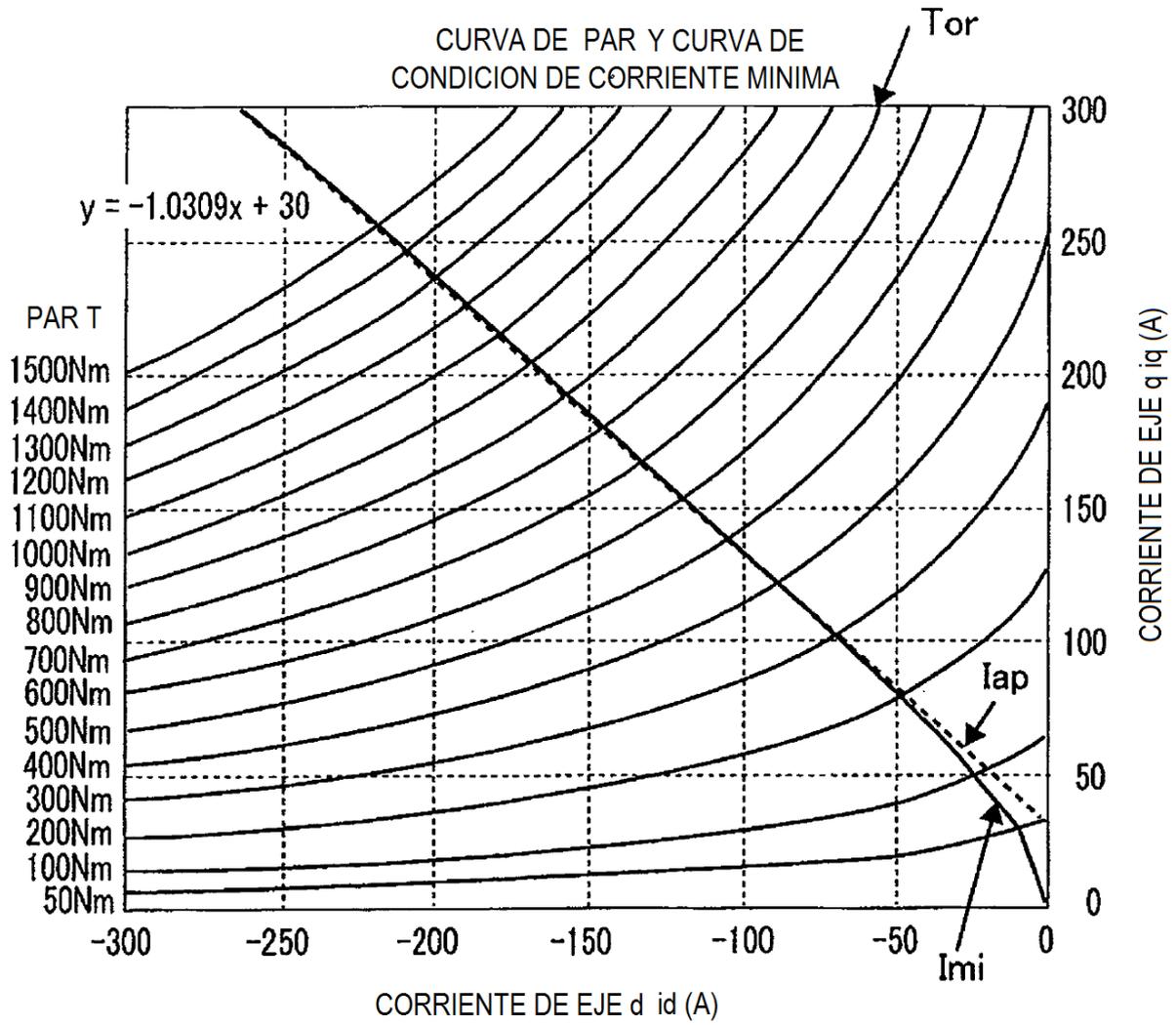


FIG.3

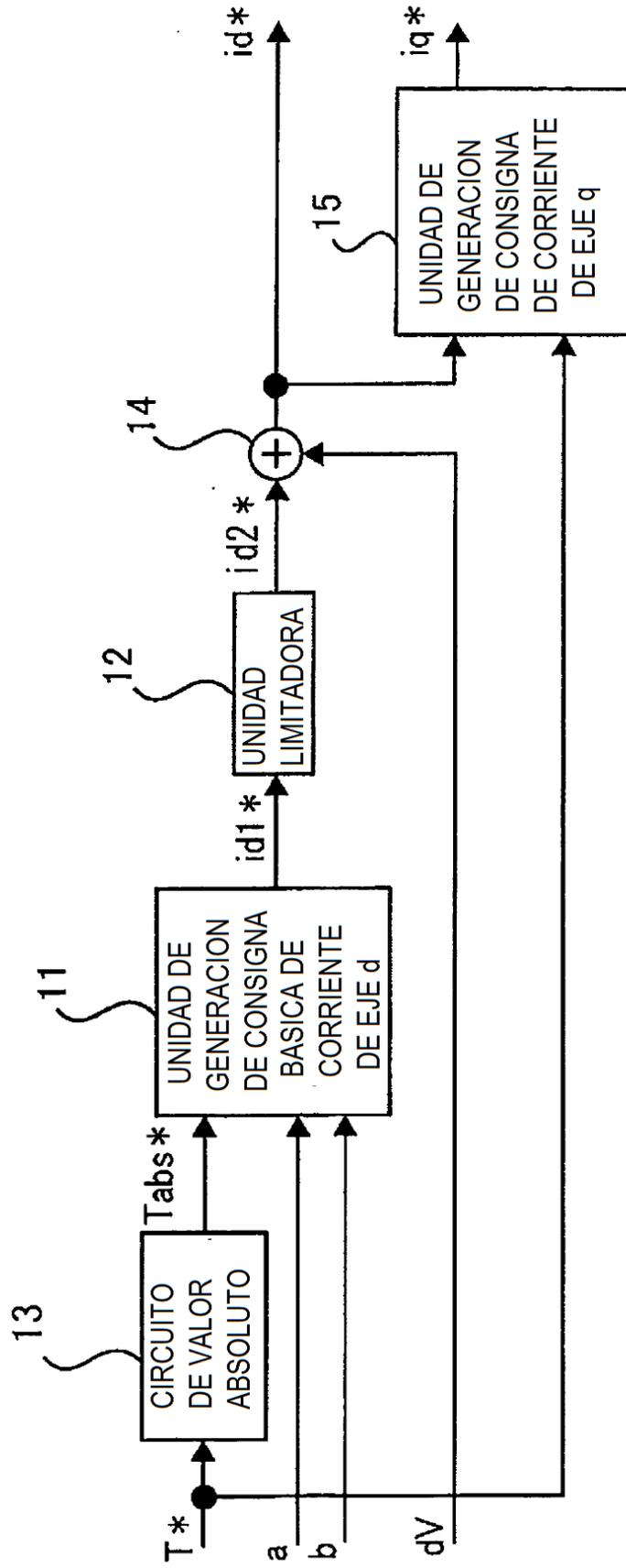


FIG.4

