

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 567**

51 Int. Cl.:

H02P 21/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2006** **E 06110400 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013** **EP 1703628**

54 Título: **Procedimiento y sistema para el control de un motor eléctrico en caso de reducción de flujo**

30 Prioridad:

15.03.2005 FR 0550661

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

03.09.2013

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, RUE ANDRÉ BLANCHET
27120 PACY SUR EURE, FR**

72 Inventor/es:

**JADOT, FABRICE;
MALRAIT, FRANÇOIS;
ROUCHON, PIERRE y
SEPULCHRE, RODOLPHE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 421 567 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

Procedimiento y sistema para el control de un motor eléctrico en caso de reducción de flujo

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema de corrección de referencias aplicados en un variador de velocidad para el control de un motor eléctrico trifásico, por ejemplo de tipo síncrono o asíncrono. La invención se aplica en un esquema de control vectorial clásico de manera indistinta en lazo abierto sin retorno de una medición de velocidad o en lazo cerrado con retorno de una medición de velocidad.

10 En un esquema de control vectorial clásico en lazo abierto, es habitual aplicar en la entrada una referencia de velocidad (o frecuencia) y una referencia de flujo a aplicar al motor. En función de estos dos datos y de mediciones de corriente en las diferentes fases del motor, se determina la corriente de flujo de referencia y la corriente de par de referencia. A partir de estas dos corrientes, se calcula a partir de las ecuaciones del modelo del motor, las tensiones de control a aplicar al motor. De manera conocida, estas tensiones se aplican al motor utilizando un ondulator de tensión habitual controlado en Modulación de Anchura de Impulsos, llamado ondulator MLI. Un ondulator MLI de este tipo suministra al motor una sucesión de impulsos de amplitud fija, positiva o negativa, y modulados en anchura, de acuerdo con una ley de control de tensión.

15 En este esquema de control vectorial, es sabido que cuando se impone en la entrada una referencia de velocidad superior a la velocidad nominal del motor y una referencia de flujo constante, la tensión calculada en función de estas referencias puede ser incompatible con la tensión disponible en la red o con una limitación de tensión seleccionada para el motor que hay que alimentar. En una situación de este tipo, resulta difícil mantener el flujo en un valor constante lo que provoca inestabilidades como oscilaciones de corriente, de velocidad o de par en el motor. Esta zona de inestabilidad se denomina zona de reducción de flujo.

20 Este problema se ha abordado en la patente US 5 204 607 que propone corregir el flujo de referencia cuando la tensión de referencia determinada se vuelve superior a la tensión que puede proporcionar el ondulator. Para ello, el sistema lleva a cabo una comparación entre la tensión de referencia y la tensión máxima que puede proporcionar el ondulator. La diferencia calculada se utiliza para determinar un valor de corrección a aplicar al flujo de referencia. El flujo de referencia se corrige mientras la tensión de referencia para el ondulator sea inferior o igual a la tensión máxima que puede proporcionar el ondulator. De este modo, la referencia de flujo y el flujo real siempre coinciden lo que evita la reducción de flujo.

Sin embargo, en este sistema, las referencias de corriente no se corrigen de manera dinámica lo que no le permite garantizar las mismas propiedades de estabilidad en la zona de limitación de tensión y fuera de esta zona.

30 El objetivo de la invención es, por lo tanto, proponer un procedimiento y un sistema de corrección de referencias aplicados en un variador de velocidad para el control de un motor eléctrico, que permite conservar las mismas propiedades de estabilidad del control del motor tanto en la zona de reducción de flujo (con limitación de tensión) como fuera de esta (sin limitación de tensión).

35 Para ello, la invención consiste en llevar a cabo una corrección dinámica de las referencias de flujo y de corrientes aplicadas en la entrada de la ley de control del variador de velocidad.

40 La invención se refiere de manera más particular a un procedimiento para el control de un motor eléctrico trifásico, aplicado en un variador de velocidad que funciona de acuerdo con una ley de control en la cual se utilizan unas referencias de flujo y de corrientes para calcular una tensión de referencia a aplicar al motor, caracterizándose dicho procedimiento porque consiste en determinar unos valores de corrección en las referencias de flujo y de corrientes cuando la tensión de referencia calculada tiene un valor superior a un valor límite, en aplicar estos valores de corrección a las referencias de flujo y de corrientes, y porque los valores de corrección de las referencias de flujo y de corrientes se calculan mediante un sistema dinámico que representa un modelo del motor que hay que controlar, equipado con integradores y que tiene como entrada la diferencia entre un vector tensión de control limitado a aplicar al motor y la tensión de referencia calculada.

45 Al contrario que en la técnica anterior, el procedimiento de acuerdo con la invención permite corregir de manera dinámica a la vez el flujo de referencia y las corrientes de referencia, lo que permite disponer de un sistema de regulación completo que tiene un dimensión igual a la del modelo del motor controlado.

De acuerdo con una particularidad de este procedimiento, si la tensión de referencia calculada tiene un valor superior al valor límite, la tensión de control a aplicar al motor es igual al valor límite.

50 La invención también se refiere a un sistema de control utilizado en un variador de velocidad para motor eléctrico trifásico, comprendiendo dicho sistema unos medios para calcular una tensión de referencia a aplicar al motor en función, en particular, de referencias de flujo y de corrientes, caracterizándose dicho sistema porque comprende unos medios para determinar unos valores de corrección en las referencias de flujo y de corrientes, y aplicar estos valores de corrección a las referencias de flujo y de corrientes cuando la tensión de referencia tiene un valor superior a un valor límite, calculándose los valores de corrección por medio de un sistema dinámico que representa un modelo del motor que hay que controlar, equipado con integradores y que tiene como entrada la diferencia entre un

vector tensión de control limitado a aplicar al motor y la tensión de referencia calculada.

De acuerdo con una particularidad, este sistema también comprende unos medios para limitar la tensión de control a aplicar al motor a un valor igual al valor límite cuando la tensión de referencia calculada tiene un valor superior al valor límite.

- 5 De acuerdo con la invención, en caso de reducción de flujo, con el fin de conservar las propiedades de estabilidad en el control del motor, se realiza por lo tanto una corrección dinámica de las referencias de flujo y de corrientes respetado al mismo tiempo el modelo del motor.

Se mostrarán otras características y ventajas en la descripción detallada que viene a continuación en referencia a un modo de realización que se da a título de ejemplo y se muestra mediante los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 – La figura 1 representa un esquema de control vectorial aplicado en un variador de velocidad para motor eléctrico, que muestra en la parte sombreada las etapas que constituyen la invención.
 – La figura 2 representa de manera esquemática el funcionamiento del modelo del motor utilizado en la invención para llevar a cabo una corrección dinámica de las referencias de flujo y de corrientes.

Un modelo matemático convencional de un motor M se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} id \\ iq \\ \varphi_r \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} id \\ iq \\ \varphi_r \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} Vd \\ Vq \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

- 15 En la que id representa la corriente de flujo del estátor, iq representa la corriente de par del motor, φ_r representa el flujo rotor y Vd y Vq las tensiones de control aplicadas al motor. A y B representan unas matrices cuyos valores se calculan a partir de los parámetros del motor y de la velocidad del rotor. En la patente US 6 281 659 hay disponible información adicional sobre esta relación.

- 20 Esta relación (1) se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{d}{dt} [x] = Ax + Bu \quad (2)$$

En la que x define el estado del sistema que hay que controlar y corresponde a la corriente suministrada al motor y al flujo rotor y u representa la tensión de control aplicada al motor.

- 25 El objetivo de control del motor es crear un control de tensión u para regular el estado x del sistema en un referencia x_{ref} definida por la siguiente relación (3).

De acuerdo con la figura 1, a partir del modelo matemático del motor M definido por la anterior relación (2), las referencias de flujo y de corrientes, definidas por x_{ref} , aplicadas en la entrada, se pueden definir mediante:

$$\frac{d}{dt} [x_{ref}] = Ax_{ref} + Bu_{ref} + C \quad (3)$$

- 30 en la que U_{ref} es una tensión de control de referencia calculada a partir de la referencia de velocidad W_{ref} y de las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} y destinada a aplicarse al motor M, y C representa un término de regulación de x . Se deduce de esto que la tensión de referencia U_{ref} , calculada (10, figura 1) a partir de las ecuaciones del modelo del motor, se define mediante la siguiente relación (4):

$$Bu_{ref} = \frac{d}{dt} [x_{ref}] - Ax_{ref} - C \quad (4)$$

- 35 En particular, si las referencias de flujo y de velocidad impuestas en la entrada son incoherentes, la tensión de referencia calculada U_{ref} puede resultar incompatible con la tensión suministrada por la red de alimentación o con una tensión límite especificada para un funcionamiento normal del motor M.

En esta situación, si el valor de la tensión de referencia u_{ref} es superior en módulo a un valor límite de tensión U_{lim} , se utiliza un dispositivo limitador de tensión (20) que permite limitar la tensión de referencia u_{ref} calculada a un valor u , por ejemplo igual en módulo al valor límite determinado U_{lim} . Este valor límite U_{lim} puede corresponder, por ejemplo, al valor de tensión máxima suministrada por la red de alimentación o al valor de tensión máxima que se puede aplicar al motor M. La tensión realmente aplicada al motor es, por lo tanto, la tensión u de módulo igual a un valor U_{lim} y no la tensión u_{ref} .

La dinámica de la diferencia entre el estado del sistema y las referencias de flujo y de corriente x_{ref} se define mediante la siguiente relación:

$$\frac{d}{dt}[x - x_{ref}] = A[x - x_{ref}] + B[u - u_{ref}] - C \quad (5)$$

Mientras la tensión de referencia sea inferior al valor límite de tensión, los valores de u y de U_{ref} son iguales. Se obtiene, por lo tanto:

$$\frac{d}{dt}[x - x_{ref}] = A[x - x_{ref}] - C \quad (6)$$

Sin embargo, al trabajar con limitación de tensión, el término $U-U_{ref}$ anterior es no nulo. Se sitúa en la zona de reducción de flujo en la cual no se puede mantener constante el flujo del rotor, lo que puede conllevar inestabilidades en el control del motor M. El término $u-u_{ref}$ introduce una diferencia no nula entre las referencias de flujo y de corriente x_{ref} y el sistema (relación (5) anterior). De acuerdo con la invención, este término $u-u_{ref}$ ya no se transfiere directamente en la diferencia $X-X_{ref}$. Este se transmite por medio de un sistema dinámico definido mediante la relación (5) anterior que posee unos integradores. Sin embargo, cuando el sistema sale de la limitación de tensión, el término $U-U_{ref}$ pasa a 0, pero la diferencia $x-x_{ref}$ no volverá a ser nula hasta después de un tiempo dependiendo de las constantes de la matriz A del sistema.

Con el fin de mejorar las prestaciones en dinámica para las trayectorias que entran y que salen de la limitación de la tensión, se lleva a cabo una corrección dinámica de las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} con el fin de que se puede alcanzar la referencia de flujo y conservar de este modo las propiedades de estabilidad del motor M fuera de la zona de limitación de tensión y dentro de la zona de limitación de tensión. El principio de la corrección dinámica de las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} es calcular los valores de corrección x_c de la siguiente manera:

$$\frac{d}{dt}[x_c] = Ax_c + B(u - u_{ref}) \quad (7)$$

Esta relación (7) expresa un modelo del motor en el cual x_c es la corrección calculada a aplicar a las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} , u es la tensión de control limitada aplicada al motor, u_{ref} es la tensión de referencia calculada a partir de la referencia de velocidad W_{ref} y de las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} y definida, por ejemplo, mediante la anterior relación (4).

La diferencia entre la tensión de referencia calculada U_{ref} y la tensión limitada u se inyecta directamente en un sistema de ecuación que representa un modelo del motor. De este modo se calcula, por medio de un sistema dinámico MM equipado con integradores (Int, figura 2) cuyo número es igual al número de estados del motor, el valor de x_c a partir de la relación (7) definida con anterioridad.

El valor de corrección x_c calculado se aplica directamente en la entrada a las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} con el fin de corregirlas. Las referencias de flujo y de corrientes corregidas x_{refc} son, por lo tanto, iguales a la suma de las referencias de flujo y de corrientes x_{ref} y de los valores de corrección x_c calculados.

Se realiza el cálculo de un valor de corrección x_c mientras exista una diferencia de tensión entre u y u_{ref} .

Se puede observar en la anterior relación (7) que, fuera de la limitación de tensión, es decir cuando u y u_{ref} tienen valores iguales, los valores de x_c convergen de manera natural hacia cero (siguiendo la dinámica natural del motor). Por el contrario, con limitación de tensión, la diferencia $u-u_{ref}$ es negativa y los valores de x_c tienen tendencia a bajar. Como consecuencia, las referencias de flujo y de corrientes corregidas x_{refc} bajan hasta anular la diferencia de tensión entre u y u_{ref} .

El valor de las referencias de flujo y de corrientes corregidas x_{refc} se expresa mediante la siguiente relación:

$$\frac{d}{dt}[x_{refc}] = \frac{d}{dt}[x_{ref}] + \frac{d}{dt}[x_c] \quad (8)$$

Al realizar este cálculo, se llega entonces a:

$$\frac{d}{dt}[x_{refc}] = Ax_{refc} + Bu + C \quad (9)$$

- 5 A partir del modelo motor definido mediante la anterior relación (2) de acuerdo con la cual $\frac{d}{dt}[x] = Ax + Bu$, se observa que si la matriz A es estable, la dinámica de la diferencia entre el estado del sistema y las referencias de flujo y de corrientes corregidas definida por $x - x_{refc}$ verifica

$$\frac{d}{dt}[x - x_{refc}] = A[x - x_{refc}] - C \quad (11)$$

- 10 Esta relación (11) que controla la dinámica de la diferencia entre el estado del sistema y las referencias de flujo y de corrientes corregidas x_{refc} , sea cual sea el valor de la tensión u tiene las mismas propiedades de estabilidad en todo el rango de funcionamiento que la diferencia $x - x_{refc}$ que controla la dinámica de la diferencia entre el estado del sistema y las referencias de flujo y de corriente fuera de la limitación de tensión. En efecto, fuera de la limitación de tensión ($x_c = 0$ y $u = u_{ref}$), las relaciones (2) y (3) dan la expresión de la dinámica de la diferencia $x - x_{refc}$ igual a:

$$\frac{d}{dt}[x - x_{ref}] = A[x - x_{ref}] - C$$

- 15 Las propiedades de estabilidad del sistema obtenidas en el rango fuera de la limitación de tensión se conservan, por lo tanto, bien en la zona de reducción de flujo. Las trayectorias que entran y que salen de la limitación de tensión las gestiona de manera natural la corrección dinámica de las referencias de flujo y de corriente sin modificar las propiedades de estabilidad y de seguimiento de trayectoria del sistema.

- 20 Se sobreentiende que se pueden, sin salirse del ámbito de la invención, imaginar otras variantes y mejoras de detalle y, del mismo modo, considerar el empleo de medios equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de un motor eléctrico (M) trifásico, instalado en un variador de velocidad que funciona de acuerdo con una ley de control en la cual se utilizan unas referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}) para calcular una tensión de referencia (u_{ref}) a aplicar al motor (M), **caracterizándose** dicho procedimiento **porque** 5
 5 consiste en determinar unos valores de corrección (x_c) en las referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}) cuando la tensión de referencia (u_{ref}) calculada tiene un valor superior a un valor límite (u_{lim}), en aplicar estos valores de corrección (x_c) a las referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}), y **porque** los valores de corrección (x_c) de las referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}) se calculan mediante un sistema dinámico (MM) que representa un modelo del motor (M) que hay que controlar, equipado con integradores (Int) y que tiene como entrada la diferencia entre un 10
 10 vector tensión de control (u) limitado a aplicar al motor (M) y la tensión de referencia (u_{ref}) calculada.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque**, si la tensión de referencia (u_{ref}) calculada tiene un valor superior a un valor límite (u_{lim}), el módulo del vector tensión de control (u) a aplicar al motor es igual al valor límite (u_{lim}).
3. Sistema de control utilizado en un variador de velocidad para motor eléctrico trifásico, comprendiendo dicho 15
 15 sistema unos medios para calcular (10) una tensión de referencia (u_{ref}) a aplicar al motor (M) en función en particular de referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}), **caracterizándose** dicho sistema **porque** comprende unos medios para determinar unos valores de corrección (x_c) en las referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}) y aplicar estos valores de corrección (x_c) a las referencias de flujo y de corrientes (x_{ref}) cuando la tensión de referencia (u_{ref}) tiene un valor superior a un valor límite (u_{lim}), calculándose los valores de corrección (x_c) por medio de un sistema dinámico (MM) 20
 20 que representa un modelo del motor que hay que controlar, equipado con integradores (Int) y que tiene como entrada la diferencia entre un vector tensión de control (u) limitado a aplicar al motor (M) y la tensión de referencia (u_{ref}) calculada.
4. Sistema de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** también comprende unos medios (20) para 25
 25 limitar el módulo del vector tensión de control (u) a aplicar al motor (M) en un valor igual a un valor límite (u_{lim}) cuando la tensión de referencia (u_{ref}) calculada tiene un valor superior al valor límite (u_{lim}).

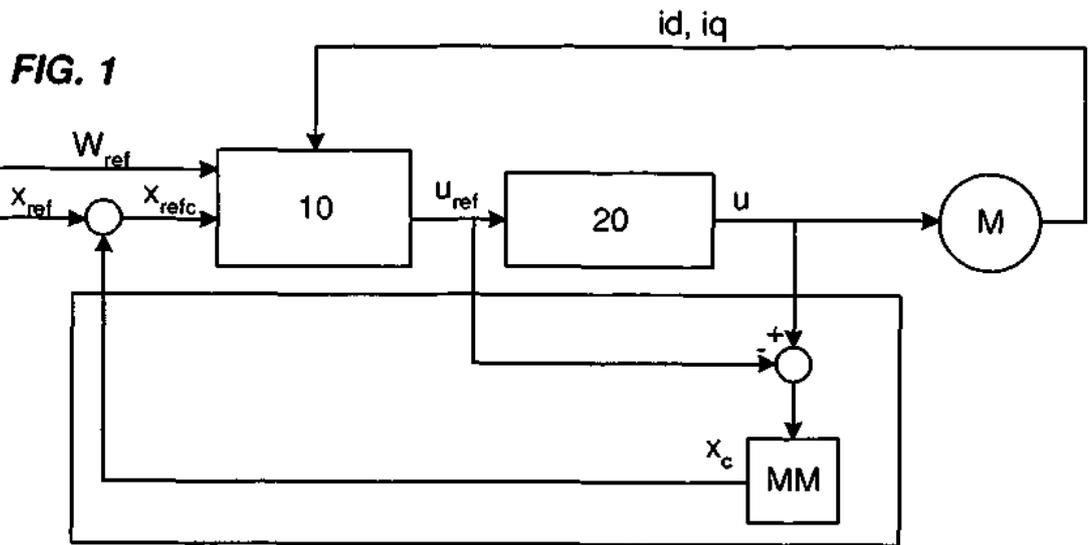


FIG. 2

