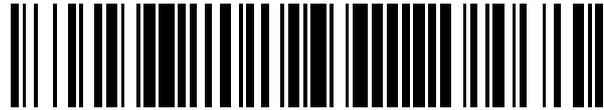


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 550 957**

51 Int. Cl.:

**H02P 21/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2006 E 06111576 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2015 EP 1713173**

54 Título: **Procedimiento de ajuste de parámetros de un motor eléctrico y variador de velocidad que utiliza dicho procedimiento**

30 Prioridad:

**13.04.2005 FR 0550944**

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

**13.11.2015**

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 y  
SEPULCHRE, RODOLPHE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 550 957 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 de ajuste de parámetros de un motor eléctrico y variador de velocidad que utiliza dicho procedimiento

La presente invención se refiere a un procedimiento de ajuste de parámetros del motor en un variador electrónico de velocidad, de tipo convertidor de frecuencia, destinado a la monitorización y al control de un motor eléctrico de inducción. La invención también se refiere a un variador de velocidad que implementa dicho procedimiento.

Un variador electrónico de velocidad de tipo convertidor de frecuencia se encarga de controlar un motor de inducción, es decir un motor que tiene las propiedades de Blondel-Park tal como un motor asíncrono trifásico. Al variador lo alimenta una red eléctrica alterna de frecuencia fija y suministra al motor una alimentación de corriente alterna cuya tensión y cuya frecuencia son variables, en función de las consignas de velocidad y de las exigencias de la aplicación. Para ello, un variador de velocidad consta de una unidad de tratamiento capaz de controlar una unidad electrónica de mando recurriendo al control vectorial de flujo.

Para obtener unos buenos rendimientos del motor, el control del variador de velocidad debe basarse en una representación fiable de un modelo eléctrico del motor que utiliza un conjunto de parámetros físicos. Es, por lo tanto, preciso un determinado número de datos representativos de las características del motor para establecer este modelo.

Algunos de estos datos de motor los proporciona el fabricante del motor eléctrico que hay que controlar. Estos datos se llaman datos de base o a veces "datos placa" ya que estas se inscriben habitualmente en una placa de señalización fijada al motor. Estas también se pueden proporcionar en la documentación del motor.

Sin embargo, no se proporcionan con el motor todos los datos necesarios para la elaboración del modelo del motor y es, por lo tanto, necesario estimar algunos parámetros que faltan, mediante su cálculo o mediante la medición por medio de diferentes métodos posibles, para obtener un modelo fiable del motor. Estos métodos utilizan, por ejemplo, una fase previa de identificación o de auto-aprendizaje del motor o memorizan en el variador unas series de valores estimados que corresponden a los parámetros que hay que estimar por medio de tablas de datos o calculan algunos parámetros por medio de ecuaciones empíricas.

Sin embargo, algunos parámetros de motor pueden evolucionar con el tiempo durante el funcionamiento del motor, en particular la resistencia  $R_R$  del rotor que fluctúa mucho con la temperatura del motor. Si, en un instante dado, existe un error en la estimación del valor de esta resistencia rotórica, entonces la corriente eléctrica proporcionada al motor por el variador puede ser más importante de lo necesario en el punto de funcionamiento nominal del motor. Del mismo modo, la inductancia  $L_R$  del rotor del motor puede variar con una modificación del flujo (por ejemplo en caso de funcionamiento en la zona de debilitación de campo). Ahora bien, la precisión del par proporcionado por el motor depende de la precisión del valor de la inductancia rotórica.

El documento EP 0 899 864 describe un control de motor de inducción. La resistencia rotórica se estima a partir de la integral de la diferencia entre la corriente de flujo del motor estimada y una medición de la corriente de flujo del motor.

De este modo, se pueden degradar los rendimientos del conjunto variador + motor provocando problemas de consumo, sobrecalentamiento o generando oscilaciones de corriente, de velocidad y de par. Sería por lo tanto deseable poder ajustar, durante el funcionamiento, los parámetros previamente estimados de tal modo que se optimice el control del motor.

Es la razón por la que la invención tiene como objetivo, cuando existe una medición de la velocidad del motor en el variador (funcionamiento en lazo cerrado), corregir en tiempo real los valores de la resistencia  $R_R$  del rotor y de la inductancia  $L_R$  del rotor del motor utilizando el término integral del lazo de corriente, permitiendo de este modo ajustar los valores de los parámetros del modelo de motor.

Para ello, la invención describe un procedimiento de ajuste de parámetros de motor en un variador de velocidad destinado al control de un motor eléctrico de inducción. El procedimiento comprende una etapa de determinación de una primera diferencia entre una referencia de corriente de par motor y una medición de la corriente de par motor, y de una segunda diferencia entre una referencia de la corriente de flujo del motor y una medición de la corriente de flujo del motor, una etapa de cálculo de un valor de corrección de la resistencia rotórica del motor y de un valor de corrección de la inductancia rotórica del motor a partir del término integral de dicha primera diferencia y a partir del término integral de dicha segunda diferencia, una etapa de ajuste de los valores de los parámetros del modelo de motor a partir de dichos valores de corrección de la inductancia rotórica y de la resistencia rotórica, y una etapa de elaboración de las tensiones de control que hay que aplicar al motor utilizando dichos valores ajustados de los parámetros de motor.

De acuerdo con una característica, la referencia de la corriente de par se obtiene a partir de una referencia de la velocidad del motor y de una medición de la velocidad del motor.

De acuerdo con una característica, el procedimiento se implementa en el variador cuando la medición de velocidad

del motor sobrepasa un valor umbral predeterminado.

Se mostrarán otras características y ventajas en la descripción detallada que viene a continuación haciendo referencia a una forma de realización dada a título de ejemplo y representada por los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 representa un esquema simplificado del control de un motor de inducción de acuerdo con la invención;
- la figura 2 detalla el bloque 15 regulador de corriente de la figura 1.

En referencia a la figura 1, un variador de velocidad, de tipo convertidor de frecuencia, se encarga de controlar y monitorizar un motor M eléctrico asíncrono trifásico, por medio de una unidad 10 de tratamiento capaz en particular de controlar una unidad electrónica de control (no representada en la figura 1) utilizando un control vectorial de flujo. Un sensor de velocidad permite proporcionar al variador un retorno de la velocidad  $W_m$  real del motor.

La unidad 10 de tratamiento del variador de velocidad comprende un bloque 11 regulador de velocidad que recibe en la entrada una referencia  $W_{ref}$  de la velocidad del motor y la medición  $W_m$  de velocidad del motor, de tal modo que libere en la salida una referencia  $I_{Qref}$  de la corriente de par motor. Esta referencia  $I_{Qref}$  de la corriente de par motor se determina con precisión puesto que se basa en un valor  $W_m$  real medido de la velocidad del motor.

La unidad 10 de tratamiento del variador de velocidad comprende a continuación un bloque 15 regulador de corriente que recibe en la entrada una referencia  $I_{Dref}$  de la corriente de flujo del motor y la referencia  $I_{Qref}$  de la corriente de par motor procedente de bloque 11. El bloque 15 también recibe los valores medidos de las corrientes de par y de flujo del motor, respectivamente  $I_{Qm}$ ,  $I_{Dm}$ , así como la medición  $W_m$  de velocidad del motor. Los valores  $I_{Qm}$ ,  $I_{Dm}$  pueden proceder de un bloque 12 convertidor que transforma de forma conocida unas mediciones procedentes de unos sensores de tensión y de corriente en los conductores de alimentación del motor (es decir conversión por rotación de las tensiones de las tres fases del motor en coordenadas d, q).

El bloque 15 regulador de corriente proporciona en la salida unas tensiones de control de flujo  $U_D$  y de control de par  $U_Q$  a un bloque 13 convertidor que las transforman de manera clásica en consignas de tensión hacia una unidad electrónica de control que alimenta las diferentes fases del motor M.

De acuerdo con la invención, el bloque 15 regulador de corriente comprende un bloque 16 integrado que calcula el término integral de una primera diferencia  $\Delta I_Q$  existente entre la referencia  $I_{Qref}$  de la corriente de par motor y la medición  $I_{Qm}$  de la corriente de par motor, y el término integral de una segunda diferencia  $\Delta I_D$  existente entre la referencia  $I_{Dref}$  de la corriente de flujo del motor y la medición  $I_{Dm}$  de la corriente de flujo del motor.

En el punto de funcionamiento de equilibrio del motor, dejando de lado las variaciones de la resistencia  $R_S$  estática y de la inductancia  $L_F$  de fuga, tenemos la siguiente relación escrita de forma vectorial:

$$\begin{pmatrix} \int (I_{Dref} - I_{Dm}) \\ \int (I_{Qref} - I_{Qm}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \int \Delta I_D \\ \int \Delta I_Q \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} \Delta L_R \\ \Delta R_R \end{pmatrix}$$

en la que  $\Delta L_R$ ,  $\Delta R_R$  representan los valores relativos de corrección respectivamente de la inductancia rotórica y de la resistencia estática y en la que el coeficiente K se puede expresar como una matriz de rotación dependiente de  $T_R$  y de  $W_G$ , con:

- $W_G$  representando la velocidad de deslizamiento conocida por  $W_G = W_S - W_m$ , en la que  $W_S$  es la frecuencia de la red de alimentación eléctrica y  $W_m$  es la medición de la velocidad del motor;
- $T_R$  representando la imagen de la constante de tiempo del motor  $T_R = R_R / L_R$ .

De este modo, se obtiene la siguiente relación:

$$\begin{pmatrix} \int \Delta I_D \\ \int \Delta I_Q \end{pmatrix} = \frac{W_S}{Kl(T_R^2 + W_G^2)} \begin{pmatrix} W_G T_R & -W_G T_R \\ T_R^2 & W_G^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta L_R \\ \Delta R_R \end{pmatrix}$$

De este modo, en régimen estable de funcionamiento del motor, el cálculo de los términos integrales de las desviaciones  $\Delta I_D$  y  $\Delta I_Q$  de corriente permiten determinar en tiempo real unos valores  $\Delta L_R$  y  $\Delta R_R$  de corrección que hay que aplicar a la inductancia rotórica y a la resistencia rotórica del motor de tal modo que pueda afinar de manera permanente el modelo de motor con unos valores reales de la inductancia rotórica y de la resistencia rotórica.

El bloque 15 regulador de corriente comprende, por lo tanto, un bloque 18 adaptador de parámetros que recibe en la entrada los términos integrales de  $\Delta I_D$  y  $\Delta I_Q$  de tal modo que calcule  $\Delta L_R$  y  $\Delta R_R$  para obtener unos valores corregidos de la inductancia rotórica  $L_R$  y de la resistencia rotórica  $R_R$  del motor, así como unos parámetros del motor que dependen de  $L_R$  y  $R_R$ , como por ejemplo  $T_R$ . Por medio de la invención, mientras los términos integrales de  $\Delta I_D$  y  $\Delta I_Q$  no sean nulos, se ajustarán los parámetros  $L_R$  y  $R_R$  permitiendo de este modo mejorar de forma continua los

parámetros del modelo de motor. Una vez que se alcancen los valores exactos de  $L_R$  y  $R_R$ , los términos integrales de  $\Delta I_D$  y  $\Delta I_Q$  convergerán hacia cero.

A continuación se introducen los nuevos parámetros corregidos en un bloque 17 de compensación (llamado también *feed-forward*) que calcula las partes estáticas (*offset*) de la tensión de control de flujo  $U_{Destat}$  y de la tensión de control de par  $U_{Qestat}$ , por medio de las siguientes relaciones:

5

$$U_{Destat} = (R_R + R_S) * I_{Dref} - L_F * W_S * I_{Qref} - R_R / L_R * \Phi_{ref}$$

$$U_{Qestat} = (R_R + R_S) * I_{Qref} + L_F * W_S * I_{Dref} - W_m * \Phi_{ref}$$

en las que  $\Phi_{ref}$  representa el flujo de referencia o flujo nominal del motor =  $U_N / W_N$ .

Las partes estáticas de las tensiones  $U_{Destat}$ ,  $U_{Qestat}$  procedentes del bloque 17 de compensación se añaden a continuación con los términos proporcionales e integrales de respectivamente  $\Delta I_D$ ,  $\Delta I_Q$  procedentes de la salida del bloque 16 integrador, para proporcionar en la salida del bloque 15 regulador de corriente las consignas de las tensiones de control de flujo  $U_D$  y de control de par  $U_Q$  que hay que aplicar al motor, de acuerdo con las relaciones:

10

$$U_D = U_{Destat} + K_P * \Delta I_D + K_I * \int \Delta I_D$$

$$U_Q = U_{Qestat} + K_P * \Delta I_Q + K_I * \int \Delta I_Q$$

en las que  $K_P$ ,  $K_I$  representan respectivamente la ganancia proporcional y la ganancia integral de la regulación de corriente.

15 De manera preferente, la corrección de los parámetros  $L_R$  y  $R_R$  se implementa por medio del procedimiento descrito en la presente invención solo cuando la medición ( $W_m$ ) de velocidad motor sobrepasa un valor umbral predeterminado, por ejemplo igual a 5 Hz. En efecto, por debajo de este valor umbral, la resistencia  $R_S$  estática del motor se vuelve preponderante con respecto a los demás parámetros y un error relativo puede alterar el buen funcionamiento del procedimiento descrito.

20 El procedimiento de ajuste comprende, por lo tanto, las siguientes etapas:

- una etapa de determinación del término integral de la primera diferencia  $\Delta I_Q$  y del término integral de la segunda diferencia  $\Delta I_D$ , realizada en el bloque 16 integrador;
- una etapa de cálculo del valor  $\Delta R_R$  de corrección y del valor  $\Delta L_R$  de corrección a partir del término integral de la primera diferencia  $\Delta I_Q$  y a partir del término integral de la segunda diferencia  $\Delta I_D$ ;
- 25 - una etapa de ajuste de los valores de los parámetros  $L_R$  y  $R_R$  del modelo de motor a partir de los valores  $\Delta L_R$  y  $\Delta R_R$  de corrección, realizándose estas dos etapas en el bloque 18 adaptador;
- una etapa de elaboración en la salida del bloque 15 regulador de la tensión  $U_D$  de control de flujo y de la tensión  $U_Q$  de control de par aplicadas al motor M, utilizando los valores ajustados de los parámetros de motor. Esta etapa de elaboración de  $U_D$  y  $U_Q$  comprende una etapa de cálculo de las partes  $U_{Destat}$  y  $U_{Qestat}$  estáticas en el
- 30 bloque de compensación 17 y una etapa de adición de  $U_{Destat}$  y  $U_{Qestat}$  con los términos proporcionales e integrales de  $\Delta I_D$  y  $\Delta I_Q$  para proporcionar  $U_D$  y  $U_Q$ .

Por supuesto, se pueden concebir, sin salirse del marco de la invención tal como se define en las reivindicaciones, otras variantes y perfeccionamientos de detalle.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de ajuste de parámetros de motor en un variador de velocidad destinado al control de un motor (M) eléctrico de inducción, **caracterizándose** el procedimiento **porque** comprende:
  - 5 - una etapa de determinación de una primera diferencia ( $\Delta I_Q$ ) entre una referencia ( $I_{Qref}$ ) de la corriente de par motor y una medición ( $I_{Qm}$ ) de la corriente de par motor, y de una segunda diferencia ( $\Delta I_D$ ) entre una referencia ( $I_{Dref}$ ) de la corriente de flujo del motor y una medición ( $I_{Dm}$ ) de la corriente de flujo del motor;
  - una etapa de cálculo de un valor ( $\Delta R_R$ ) de corrección de la resistencia rotórica del motor y de un valor ( $\Delta L_R$ ) de corrección de la inductancia rotórica del motor a partir del término integral de dicha primera diferencia ( $\Delta I_Q$ ) y del término integral de dicha segunda diferencia ( $\Delta I_D$ );
  - 10 - una etapa de ajuste de los valores de los parámetros del modelo de motor a partir de dichos valores ( $\Delta L_R$ ,  $\Delta R_R$ ) de corrección de la inductancia rotórica y de la resistencia rotórica;
  - una etapa de elaboración de las tensiones ( $U_D$ ,  $U_Q$ ) de control a aplicar al motor (M) utilizando dichos valores ajustados de los parámetros de motor.
  
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la referencia ( $I_{Qref}$ ) de la corriente de par se obtiene a partir de una referencia ( $W_{ref}$ ) de la velocidad del motor y de una medición ( $W_m$ ) de la velocidad del motor.
  
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** se implementa en el variador cuando la medición ( $W_m$ ) de velocidad del motor sobrepasa un valor umbral predeterminado.
  
- 20 4. Variador de velocidad destinado al control de un motor (M) eléctrico de inducción, provisto de una unidad (10) de tratamiento que comprende un bloque (15) regulador de corriente que proporciona unas tensiones de control del motor (M), **caracterizado porque** el bloque (15) regulador de corriente consta de:
  - un bloque (16) integrador para determinar una primera diferencia ( $\Delta I_Q$ ) entre una referencia ( $I_{Qref}$ ) de la corriente de par motor y una medición ( $I_{Qm}$ ) de la corriente de par motor, y una segunda diferencia ( $\Delta I_D$ ) entre una referencia ( $I_{Dref}$ ) de la corriente de flujo del motor y una medición ( $I_{Dm}$ ) de la corriente de flujo del motor;
  - 25 - un bloque (18) adaptador que calcula un valor ( $\Delta R_R$ ) de corrección de la resistencia rotórica del motor y un valor ( $\Delta L_R$ ) de corrección de la inductancia rotórica del motor a partir del término integral de dicha primera diferencia ( $\Delta I_Q$ ) y del término integral de dicha segunda diferencia ( $\Delta I_D$ ), y que ajusta los valores de los parámetros del modelo de motor a partir de dichos valores ( $\Delta L_R$ ,  $\Delta R_R$ ) de corrección de la inductancia rotórica y de la resistencia rotórica;
  - 30 - un bloque (17) de compensación que utiliza dichos valores ajustados de los parámetros de motor para elaborar las tensiones ( $U_D$ ,  $U_Q$ ) de control que hay que aplicar al motor (M).
  
5. Variador de velocidad de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** la unidad (10) de tratamiento consta de un bloque (11) regulador de velocidad que calcula la referencia ( $I_{Qref}$ ) de la corriente de par a partir de una referencia ( $W_{ref}$ ) de la velocidad del motor y de una medición ( $W_m$ ) de la velocidad del motor.
  
- 35 6. Variador de velocidad de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el cálculo del valor ( $\Delta R_R$ ) de corrección de la resistencia rotórica y del valor ( $\Delta L_R$ ) de corrección de la inductancia rotórica se implementa en el bloque (18) adaptador cuando la medición ( $W_m$ ) de velocidad motor sobrepasa un valor umbral predeterminado.

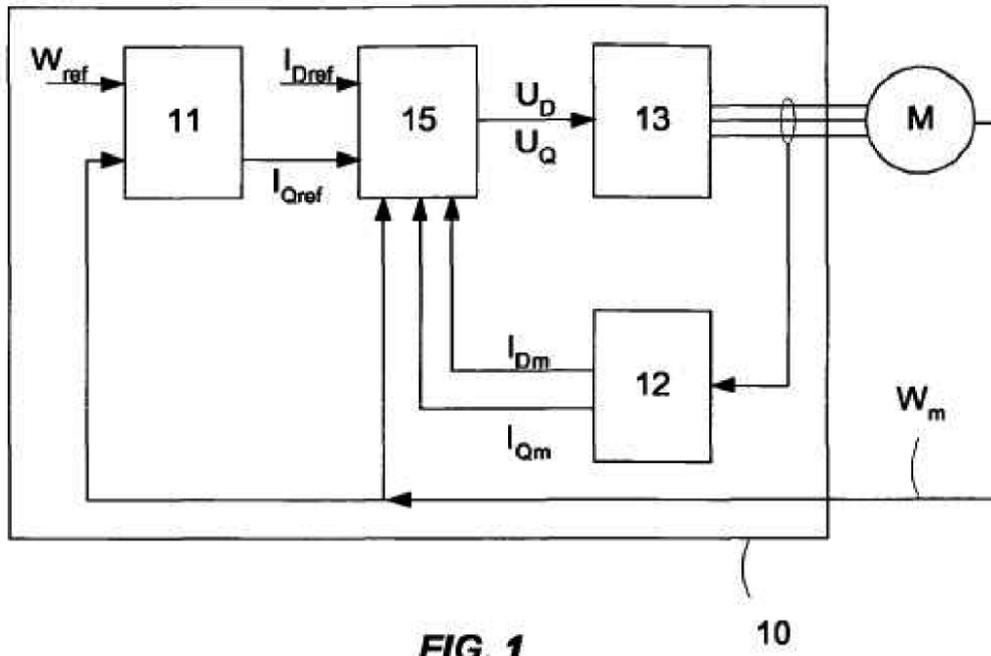


FIG. 1

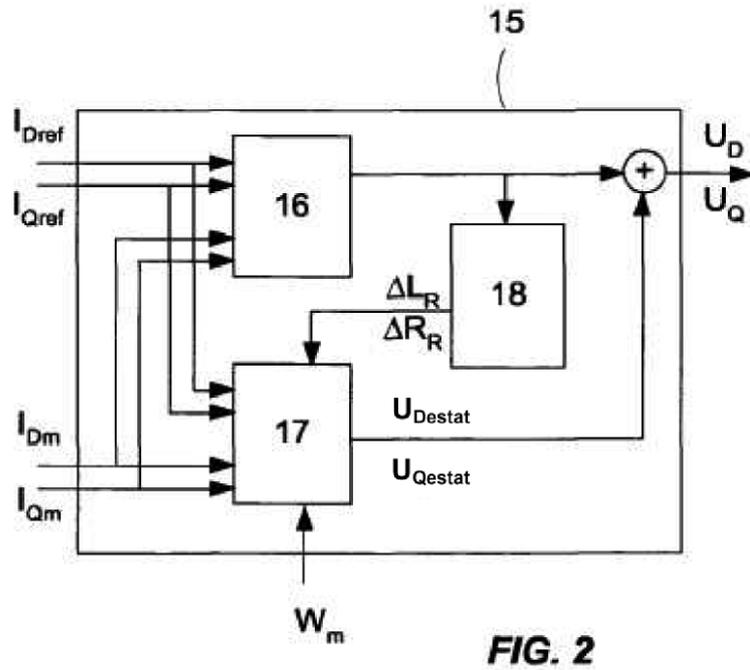


FIG. 2