

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 609**

51 Int. Cl.:

G01R 31/34 (2006.01)

G01R 27/14 (2006.01)

H02P 21/14 (2006.01)

H02P 23/00 (2006.01)

H02P 23/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2018 E 18167159 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 3401694**

54 Título: **Procedimiento de identificación de la resistencia eléctrica del rotor de un motor eléctrico**

30 Prioridad:

10.05.2017 FR 1754076

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

20.02.2020

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)**

**33, rue André Blanchet
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

**MALRAIT, FRANÇOIS;
DEVOS, THOMAS y
JEBAI, AL KASSEM**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 743 609 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 identificación de la resistencia eléctrica del rotor de un motor eléctrico

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de identificación de la resistencia eléctrica de un rotor de un motor eléctrico de inducción.

La invención se refiere del mismo modo al sistema de identificación que permite implementar dicho procedimiento.

Estado de la técnica

10 Un motor eléctrico está controlado por un variador de velocidad, que implementa una ley de control adaptada. Para controlar de forma correcta el motor eléctrico, el variador de velocidad y su unidad de tratamiento deben apoyarse en ciertos parámetros del motor eléctrico controlado.

15 Para asegurar un control estable y eficiente, es preferible que el variador de velocidad se apoye en parámetros cuyos valores son exactos. Este es en particular el caso de la resistencia del rotor (denominada del mismo modo "resistencia de rotor") del motor eléctrico. Sin embargo, resulta que este valor exacto de la resistencia del rotor no es forzosamente conocido por la unidad de tratamiento del variador de velocidad. La unidad de tratamiento puede por tanto por ejemplo utilizar el valor por defecto en el control, lo que muy a menudo conduce a rendimientos degradados. La resistencia del rotor podrá en efecto ser sobreestimada o subestimada por la unidad de tratamiento, que conduce a una variación de la corriente en el estator y por tanto un error en la implementación del algoritmo de cálculo de las tensiones de la ley de control.

20 Se han propuesto ya sin embargo soluciones para determinar la resistencia del rotor. Algunas de estas soluciones consisten en determinar la inductancia de rotor para reducir la resistencia del rotor. Sin embargo, sin entrar en detalles, a causa de la saturación magnética, el valor de la inductancia de rotor no es forzosamente constante, lo que conduce a un error en la determinación de la resistencia de rotor.

25 La patente EP1713173B1 describe por su parte una solución de ajuste de parámetros de un motor eléctrico. La misma se implementa en línea, es decir durante el funcionamiento normal del motor. Consiste principalmente en utilizar el término integral del bucle de corriente para ajustar los valores de parámetros del modelo motor.

Esta solución tampoco es del mismo modo satisfactoria, en particular ya que debe ser implementada en presencia de una carga en el motor y que necesita emplear un captador de velocidad (bucle cerrado).

30 La publicación referida como "DIAB AHMED A ZAKI et Al, *"Parallel estimation of rotor resistance and speed for sensorless vector controlled induction motor drive* (estimación paralela de resistencia y velocidad de unidad de motor para unidad de motor de inducción controlada por vector sin detención)" - 2016, 17ª Conferencia Internacional de jóvenes especialistas de Micro/nanotecnologías y dispositivos de electrón (EDM), IEEE 30 de junio de 2016, páginas 389-394, XP032943052, DOI: 10.1109/EDM.2016.7538763" describe un procedimiento de identificación de un valor de resistencia de rotor de un motor eléctrico que emplea un sistema adaptativo.

35 El objetivo de la invención es por tanto proponer un nuevo procedimiento para la identificación de la resistencia del rotor, que sea fiable, no necesite la utilización de un captador de velocidad (bucle cerrado) y que pueda implementarse en presencia de una carga o en la ausencia de una carga en el motor.

Exposición de la invención

40 Este objetivo se alcanza mediante un procedimiento de identificación de un valor de resistencia del rotor de motor eléctrico de inducción, dicho procedimiento que comprende las etapas siguientes:

a) Determinación de una tensión de referencia en función de un valor elegido para la resistencia del rotor del motor eléctrico,

b) Aplicación de una tensión de control al motor eléctrico, dicha tensión de control que es determinada a partir de dicha tensión de referencia,

45 c) Adquisición de valores de corrientes medidas en las tres fases del motor eléctrico de manera que se deduce una corriente de estator del motor eléctrico,

d) Comparación de la corriente de estator obtenida con un valor predeterminado,

e) Corrección de dicho valor utilizado por la resistencia del rotor y aplicación de las etapas a) a d) hasta obtener una corriente de estator igual a dicho valor predeterminado.

Este objetivo se alcanza del mismo modo mediante un procedimiento de identificación de un valor de resistencia del rotor de un motor eléctrico de inducción, dicho procedimiento que comprende las etapas siguientes:

- a) Determinación de una tensión de medida para la cual una corriente de estator representativa de corrientes medidas en las tres fases del motor eléctrico es igual a un valor predeterminado,
- 5 b) Determinación de una tensión de referencia en función del valor elegido para la resistencia del rotor del motor eléctrico,
- c) Comparación de dicha tensión de referencia con la tensión de medida,
- d) Corrección de dicho valor utilizado para la resistencia del rotor y aplicación de las etapas a) a c) hasta obtener una igualdad entre dicha tensión de referencia y la tensión de medida.

10 Según una particularidad, dicho valor predeterminado corresponde a un valor nulo o próximo a cero.

Según una realización particular, el procedimiento se implementa según un principio de dicotomía que comprende varias iteraciones sucesivas y en la cual, en cada iteración, un intervalo en el que se encuentra el valor buscado para la resistencia del rotor es dividido por dos.

15 Según otra realización particular, el procedimiento se implementa según un principio de gradiente que comprende varias iteraciones sucesivas y en el que el valor elegido para la resistencia del rotor es modificado en cada iteración según el sentido del resultado de la etapa de comparación.

El objetivo se alcanza del mismo modo por un sistema de identificación de un valor de resistencia del rotor de un motor eléctrico de inducción, que comprende:

- 20 a) Un módulo de determinación de una tensión de referencia en función del valor elegido por la resistencia del rotor del motor eléctrico,
- b) Un módulo de aplicación de tensiones de control al motor eléctrico, dichas tensiones de control que son determinadas a partir de dicha tensión de referencia,
- c) Un módulo de adquisición de valores de corrientes medidas en las tres fases del motor eléctrico de manera que se deduce una corriente de estator del motor eléctrico,
- 25 d) Un módulo de comparación de la corriente de estator obtenida con un valor predeterminado,
- e) Un módulo de corrección de dicho valor utilizado por la resistencia del rotor y ejecución de módulos a) a d) hasta obtener una corriente de estator igual a dicho valor predeterminado.

El objetivo es del mismo modo alcanzado por un sistema de identificación de un valor de resistencia del rotor de un motor eléctrico de inducción, que comprende:

- 30 a) Un módulo de determinación de una tensión de medida para la cual la corriente de estator representativa de las corrientes medidas en las tres fases del motor eléctrico es igual a un valor predeterminado,
- b) Un módulo de determinación de una tensión de referencia en función de un valor elegido para la resistencia del rotor del motor eléctrico,
- c) Un módulo de comparación de dicha tensión de referencia con la tensión de medida,
- 35 d) Un módulo de conexión de dicho valor utilizado por la resistencia del rotor y la aplicación de las etapas a) a c) hasta obtener una igualdad entre dicha tensión de referencia y la tensión de medida.

Según una particularidad, dicho valor predeterminado corresponde a un valor nulo o próximo a cero.

40 Según una realización particular, este sistema está configurado para funcionar según un principio de dicotomía que comprende varias iteraciones sucesivas y en el cual, en cada iteración, un intervalo en el que se encuentra el valor buscado para la resistencia del rotor es dividido por dos.

Según otra realización particular, el sistema está configurado para funcionar según un principio de gradiente que comprende varias iteraciones sucesivas y en el cual el valor elegido para la resistencia del rotor se modifica en cada iteración según el sentido del resultado de la etapa de comparación.

45 La invención se refiere finalmente a un variador de velocidad destinado al control de un motor eléctrico, que comprende un sistema de control que comprende un sistema de identificación conforme al definido anteriormente.

Breve descripción de las figuras

Otras características y ventajas son evidentes de la descripción detallada siguiente, hecha con respecto a los dibujos adjuntos en los cuales:

- La figura 1 representa un esquema de un variador de velocidad clásico que incluye el sistema de control de la invención.
- 5 – La figura 2 representa un sinóptico que ilustra el principio de funcionamiento del procedimiento de control de la invención.
- La figura 3 representa de manera esquemática el principio del procedimiento de identificación de la invención.
- La figura 4 ilustra el principio de búsqueda por dicotomía del valor de la resistencia de rotor.
- 10 – La figura 5 ilustra, según un modo de realización particular, el principio de funcionamiento del procedimiento de identificación de la invención.

Descripción detallada de al menos un modo de realización

- La invención descrita anteriormente se aplica al control de un motor M asíncrono (de inducción), de forma preferible de alimentación trifásica. Se implementa en un esquema de control clásico del tipo vectorial o escalar, en bucle abierto, es decir sin retorno de una medida de velocidad al nivel del motor eléctrico, o en bucle cerrado, es decir con retorno de una medida de velocidad a nivel del motor eléctrico.

- El procedimiento de identificación de la invención se implementa en un sistema de control que comprende una unidad UC de tratamiento. La unidad UC de tratamiento comprende al menos un microprocesador y una memoria. Este sistema de control está asociado a un variador de velocidad destinado al control de un motor eléctrico. Podrá en particular estar integrado en dicho variador de velocidad.

De manera conocida, el variador de velocidad comprende por regla general:

- fases R, S, T de entrada, conectadas a una red eléctrica que proporciona una tensión alternativa;
- un rectificador 10 de CA/CC, tal como por ejemplo un puente de diodos, destinado a transformar la tensión alterna proporcionada por la red eléctrica en una tensión continua;
- 25 – un bus continuo de alimentación conectado a la salida del rectificador y que comprende dos líneas de alimentación entre las cuales se aplica la tensión continua;
- al menos un condensador Cbus de bus conectado entre las dos líneas de alimentación del bus y destinado a mantener la tensión continua en un valor constante;
- 30 – un inversor 11 de CC/CA conectado al bus continuo de alimentación y que comprende varios transistores de potencia, por ejemplo, del tipo IGBT, controlados por la unidad de tratamiento de manera que aplica las tensiones requeridas en las fases de salida conectadas al motor eléctrico. El control del inversor 11 es por ejemplo realizado por técnicas tradicionales del tipo MLI (Modulación de Ancho de Pulso) o CDC (Control Directo de Par). Una ley de control ejecutada por la unidad UC de tratamiento permite determinar las tensiones a aplicar en las fases de salida;
- 35 – fases 1, 2, 3 de salida destinadas a ser conectadas al motor M eléctrico a controlar.

De manera no limitativa, la invención será descrita para una ley de control de tipo escalar en U/F y en bucle abierto. Hace falta comprender que el procedimiento descrito anteriormente será idéntico sea cual sea la ley de control empleada.

- De manera conocida, con referencia la figura 2, una ley de control escalar en un U/F clásica, ejecutada por la unidad de tratamiento para el control del motor eléctrico asíncrono en bucle abierto, comprende las características principales siguientes:

- una consigna ω_{Re}^{cons} de pulso del rotor del motor eléctrico, y una consigna ϕ^{cons} de flujo se aplican en la entrada;
- un módulo M0 determinó una referencia ω_{Re}^{ref} de pulso del rotor del motor eléctrico a partir de la consigna ω_{Re}^{cons} del motor eléctrico recibida en la entrada;
- 45

- un módulo M1 calculador, que recibe en la entrada una consigna φ^{cons} de flujo y la referencia ω_{Re}^{ref} de pulso del rotor, determina las corrientes i_{sd}^{ref} y i_{sq}^{ref} del estator de referencia así como el flujo φ_s^{ref} de referencia;
- un módulo M2, que recibe en la entrada la referencia ω_{Re}^{ref} de pulsación del rotor, el flujo φ_s^{ref} de estator de referencia y las corrientes i_{sd}^{ref} y i_{sq}^{ref} de referencia determinan las tensiones u_d^{ref} y u_q^{ref} a aplicar al motor eléctrico, Y el ángulo θ_s de orientación a aplicar;
- un módulo M3 aplica una transformación de Park para determinar las tensiones u_1, u_2, u_3 a aplicar en las tres fases de salida;
- en el ámbito de la invención, al menos dos de las tres corrientes i_1, i_2, i_3 son medidas en las tres fases del motor eléctrico, con el fin de reducir las corrientes i_{sd} y i_{sq} para un módulo M4 que recibe del mismo modo en la entrada el ángulo θ_s de orientación.

Otros módulos pueden implementarse por supuesto por la unidad de tratamiento, pero los mismos no serán detallados en la presente solicitud.

Esta ley de control se implementa durante una fase de explotación, es decir durante el funcionamiento normal del motor M eléctrico controlado por el variador de velocidad.

- 15 La invención se refiere de forma más particular a un procedimiento de identificación de la resistencia del rotor del motor eléctrico. Esta identificación puede implementarse anteriormente al funcionamiento normal del motor o en cualquier otro momento durante una fase de parametrización del variador de velocidad.

20 El procedimiento de identificación se implementa por un sistema de identificación, de forma preferible ejecutado por la unidad UC de tratamiento del variador de velocidad. Este sistema de identificación se apoya en particular en los módulos M1 a M4 del sistema de control y en el módulo M5 complementario que ayuda a la identificación de la resistencia del rotor. Los medios de medida de corriente y de tensión serán de forma ventajosa integrados en el sistema de identificación de la invención y las etapas de medida implementadas formarán, de forma ventajosa, parte del procedimiento identificación de la invención.

- 25 Para su implementación, el procedimiento de identificación se apoya en las demostraciones siguientes en las cuales el índice "R" permite identificar los parámetros ligados al rotor, el índice "S" permite identificar los parámetros ligados al estator, el exponente "ref" permite identificar un parámetro de referencia.

La tensión u_s^{ref} de estator de referencia es calculada por la fórmula:

$$u_s^{ref} = j \cdot \omega_s \cdot \varphi_s^{ref} + \frac{d}{dt} \varphi_s^{ref} \quad (1)$$

- 30 donde, por construcción la tensión estator de referencia es escrita en complejo a partir de dos componentes del eje d y del eje q como sigue:

$$u_s^{ref} = u_d^{ref} + j \cdot u_q^{ref}$$

La relación dinámica en el rotor es dada por la ecuación siguiente:

$$\frac{d}{dt} \varphi_R^{ref} = -R_r \cdot i_R^{ref} \quad (2)$$

Se busca crear una tensión que anule las corrientes de estator, es decir $i_{sd}^{ref} = 0$ y $i_{sq}^{ref} = 0$

- 35 De la misma manera que para la tensión, la escritura compleja de las corrientes de estator es:

$$i_s^{ref} = i_{sd}^{ref} + j \cdot i_{sq}^{ref} = 0$$

El acoplamiento magnético del motor proporciona las relaciones siguientes:

$$\begin{cases} \varphi_s^{ref} = \varphi_M^{ref} \\ \varphi_R^{ref} = L_{FR} \cdot i_R^{ref} + \varphi_M^{ref} \end{cases}$$

donde:

$$\varphi_M^{ref} = f(i_R^{ref})$$

Como ejemplo, la función de saturación puede ser representada por la función f siguiente:

$$f(i_R^{ref}) = L_{SAT} \cdot i_R^{ref} \cdot \frac{1}{1 + \gamma \cdot |i_R^{ref}|}$$

5 En las cuales:

- ω_s corresponde a la pulsación de la tensión (derivada del ángulo θ_s de orientación);
- φ_M^{ref} corresponde al flujo magnetizante de referencia, sin pérdida de generalidad representada por un tamaño real;
- φ_R^{ref} corresponde al flujo rotor de referencia, sin pérdida de generalidad representada por un tamaño real;
- 10 – i_S^{ref} corresponde a la corriente de estator de referencia, igual a 0;
- i_R^{ref} corresponde a la corriente de rotor de referencia, sin pérdida de generalidad, representada por un tamaño real;
- R_r corresponde a la resistencia del rotor (o “resistencia de rotor”);
- L_{FR} corresponde a la inductancia de fuga de rotor;
- 15 – L_{SAT} y γ corresponden a parámetros de saturación magnética del motor eléctrico para la función de escritura.

Reemplazando φ_R^{ref} por su expresión, se obtiene:

$$\frac{d}{dt} \varphi_R^{ref} = \left(L_{FR} + \frac{d\varphi_M^{ref}}{di_R^{ref}} \right) \cdot \frac{d}{dt} i_R^{ref} \quad (3)$$

Calculando la derivada de la función de saturación magnética f, se obtiene:

$$\frac{d\varphi_M^{ref}}{di_R^{ref}} = f'(i_R^{ref}) = L_{SAT} \cdot \frac{1}{(1 + \gamma \cdot i_R^{ref})^2}.$$

20

El algoritmo sigue las etapas descritas anteriormente.

La ley de evolución de i_R^{ref} es la siguiente, a partir de las ecuaciones (2) y (3):

$$\left(L_{FR} + L_{SAT} \cdot \frac{1}{(1 + \gamma \cdot i_R^{ref})^2} \right) \cdot \frac{d}{dt} i_R^{ref} = -R_r \cdot i_R^{ref}$$

Entonces, se puede calcular el flujo de magnetización que es también el flujo de estator:

$$\varphi_M^{ref} = f(i_R^{ref}) = L_{SAT} \cdot i_R^{ref} \cdot \frac{1}{1 + \gamma \cdot i_R^{ref}}$$

25

Al final, la tensión es calculada a partir del flujo de estator y de su derivada:

$$\frac{d}{dt} \varphi_s^{ref} = f'(i_R^{ref}) \cdot \frac{d}{dt} i_R^{ref} = - \frac{L_{SAT} \cdot \frac{1}{(1 + \gamma \cdot i_R^{ref})^2}}{L_{FR} + L_{SAT} \cdot \frac{1}{(1 + \gamma \cdot i_R^{ref})^2}} \cdot R_r \cdot i_R^{ref},$$

$$\varphi_s^{ref} = f(i_R^{ref}) = L_{SAT} \cdot i_R^{ref} \cdot \frac{1}{1 + \gamma \cdot i_R^{ref}}$$

Y la tensión del estator vale:

$$u_s^{ref} = j \cdot \omega_s \cdot \varphi_s^{ref} + \frac{d}{dt} \varphi_s^{ref}$$

5 Se deduce de las relaciones anteriores que existe una relación entre la resistencia del rotor y la tensión u_s^{ref} de estator de referencia. Parece que una variación de la resistencia del rotor tendrá una incidencia sobre el valor de esta tensión.

A partir de la relación:

$$u_s^{ref} = u_d^{ref} + j \cdot u_q^{ref}$$

Se deduce que:

$$u_d^{ref} = \text{parte real}(u_s^{ref})$$

$$u_q^{ref} = \text{parte imaginaria}(u_s^{ref})$$

10

Para la rotación del ángulo θ_s , se tienen dos tensiones u_α^{ref} , u_β^{ref} en el marcador fijo. Para simplificar los cálculos, se introduce una tercera componente u_γ^{ref} igual a 0. Esta componente representa las distancias del motor con respecto a un modelo estándar equilibrado. No queda más que aplicar la transformación de Clarke para calcular las tensiones u_1 , u_2 , u_3 :

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_\alpha^{ref} \\ u_\beta^{ref} \\ u_\gamma^{ref} \end{pmatrix}$$

15

De una manera simétrica, las corrientes i_1 , i_2 , i_3 medidas pueden ser transformadas por la transformación de Clarke inversa:

$$\begin{pmatrix} i_\alpha^{ref} \\ i_\beta^{ref} \\ i_\gamma^{ref} \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{pmatrix}$$

20 Después, a partir de la rotación inversa y de dos componentes i_α , i_β de tensión se obtienen los dos valores de las corrientes i_{sd} y i_{sq} . La corriente i_s es calculada como una función de estos valores.

El principio general de la invención consiste en colocar un algoritmo eficaz que permita converger hacia el valor buscado de la resistencia R_r del rotor.

Con referencia las figuras 3A y 3B, son posibles entonces dos alternativas.

Una primera alternativa ilustrada por la figura 3A consiste en seguir el ciclo siguiente:

- 5 – Afectar en un primer bloque B1 un primer valor $\hat{R}_r$ teórico en la entrada de la ley de control (por ejemplo, en U/F como se describió anteriormente) en la variable de resistencia del rotor;
- Determinar en un bloque B2 la tensión u_s^{ref} de estator de referencia a partir de este primer valor $\hat{R}_r$ afectado en la resistencia del rotor;
- Aplicar al motor las tensiones (tensión u_s de estator) calculadas a partir de la tensión u_s^{ref} de referencia;
- 10 – Medir las corrientes i_1, i_2, i_3 en los tres bobinados del motor con el fin de reducir la corriente i_s de estator;
- Comparar en un bloque B3 la corriente i_s de estator obtenida con un valor predeterminado de referencia (por ejemplo $i_s^{ref} = 0$);
- Volver a comenzar el ciclo anterior con un nuevo valor para la resistencia del rotor hasta que se alcance el valor (i_s^{ref}) predeterminado para la corriente de estator.
- 15 Los tres bloques B1, B2, B3 son en particular integrados en los módulos M1 a M5 del sistema de control descrito anteriormente.

El bloque B1 es por ejemplo ejecutado en el módulo M2 que permite el cálculo de tensiones de control.

El bloque B2 es por ejemplo ejecutado en el módulo M2 de cálculo de tensiones.

- 20 El bloque B3 es por ejemplo ejecutado en el módulo M5 que permite tratar la corriente de estator adquirida durante las medidas y de deducir el nuevo valor $\hat{R}_r$ teórico a afectar en la resistencia del rotor según la solución de búsqueda elegida (ver más abajo).

Una segunda alternativa ilustrada por la figura 3B consiste en seguir el siguiente ciclo:

- Adquirir por medida una tensión u_s^{mes} de medida de referencia para la cual la corriente i_s de estator es igual al valor predeterminado de referencia, es decir por ejemplo $i_s = 0$;
- 25 – Afectar B10 en primer un bloque un primer valor $\hat{R}_r$ teórico en la entrada de la ley de control (por ejemplo como se describió anteriormente) en la variable de resistencia del rotor;
- Determinar en un bloque B20 la tensión u_s^{ref} de estator de referencia a partir de este primer valor $\hat{R}_r$ teórico afectado en la resistencia del rotor;
- 30 – Comparar en un bloque B30 la tensión u_s^{ref} estator de referencia con la tensión u_s^{mes} medida adquirida inicialmente;
- Volver a comenzar el ciclo anterior con un nuevo valor para la resistencia de rotor mientras las dos tensiones no sean iguales. El nuevo valor $\hat{R}_r$ teórico afectado en la resistencia de rotor es determinado en función del resultado de la comparación entre las dos tensiones.

La adquisición de la tensión u_s^{mes} operada inicialmente puede ser implementada según dos principios distintos:

- 35 – Poniendo el motor en rodadura libre, es decir que la tensión aplicada al motor no sea controlada;
- Regulando la corriente de estator a un valor nulo, la tensión aplicada al motor es entonces calculada por un bucle de regulación sobre las corrientes.

En teoría, el valor i_s^{ref} predeterminado de la corriente i_s de estator a obtener que corresponde con el valor exacto de la resistencia $\hat{R}_r$ de rotor es próximo a cero, de forma preferible igual a cero. Dicho de otra manera, cuando la

resistencia del rotor está en su valor exacto, la corriente i_s de estator obtenida durante la colocación de la solución de la invención está a este valor próximo a cero, típicamente la corriente nominal dividida por 50, preferiblemente nula.

Para optimizar la búsqueda del valor exacto de la resistencia $\hat{R}_r$ del motor se pueden implementar varios algoritmos para converger hacia un valor preciso de la resistencia R_r de rotor de manera no limitativa:

- Una primera solución consiste en emplear un principio de dicotomía.
- Una segunda solución consiste en colocar un procedimiento denominado del gradiente.

En la primera solución, utilizando un principio de dicotomía, los parámetros empleados son RMAX, RMIN que corresponden a los límites extremos de cada intervalo en los cuales el valor de la resistencia de rotor es buscado y un número N de iteraciones. Por principio, en cada nueva iteración (es decir en cada nuevo ciclo que comienza con la atribución de un nuevo valor $\hat{R}_r$ de resistencia de rotor), la amplitud del intervalo de los valores posibles a atribuir a la resistencia de rotor se dividen por dos. Cuando se alcanza el número de iteraciones, el valor de la resistencia de rotor se encuentra en el último intervalo explorado. Cuanto más restringido, más preciso será el valor. El principio es ilustrado de forma más precisa en la figura 4.

Estas dos soluciones de búsqueda se pueden aplicar a dos alternativas descritas anteriormente, sólo siendo diferente la restricción de parada de la búsqueda (igualdad $i_s = i_s^{ref}$ i_s para la primera alternativa igualdad $u_s^{ref} = u_s^{mes}$).

A título de ejemplo y de manera no limitativa, en referencia la figura 4, para la primera alternativa descrita anteriormente en conexión con la figura 3A, el algoritmo de búsqueda por dicotomía comprende los diferentes bloques siguientes:

- Se definen los parámetros RMAX, RMIN cuyos valores son inicializados a valores determinados para definir un intervalo de búsqueda; R0 es elegido del mismo modo con un valor comprendido en el intervalo RMAX, RMIN;
- El bloque B100 es un bloque de tratamiento que se corresponde al bloque B3 descrito anteriormente en el proceso global de búsqueda. Es en este bloque donde se determina si la búsqueda es perseguida o no en función de la comparación entre el valor de corriente i_s de estator y el valor i_s^{ref} ;
- El bloque B200 corresponde a un bloque de comprobación para comprobar si el valor de corriente i_s es superior a cero;
- Si la corriente i_s es superior a cero, el bloque B300 consiste en reemplazar el valor de RMAX por R0; $R0 = (RMAX + RMIN)/2$
- Si la corriente i_s es inferior a cero, el bloque B400 consiste en reemplazar el valor RMIN por R0; $R0 = ((RMAX + RMIN)/2)$
- El bloque B500 corresponde a un bloque de fin de una iteración, antes de una nueva iteración con el nuevo valor afectado a R0.

La figura 5 ilustra por tanto el principio de procedimiento de identificación de la invención, que utiliza una búsqueda por dicotomía. El número de iteraciones es representado en la abscisa y el valor aceptado a la resistencia R_r de rotor actualizada después de cada iteración es representado en la ordenada. Se puede ver una convergencia hacia un valor preciso de la resistencia R_r de rotor al final de cinco iteraciones.

La segunda solución de búsqueda evocada anteriormente, consiste en hacer variar el valor afectado de la resistencia R_r de rotor en aumento o disminución según la variación de la corriente i_s de estator obtenida en cada nueva iteración. Este procedimiento que es fácilmente comprensible, no se detalla en la presente solicitud.

Se comprende de este procedimiento que la solución de la invención para identificar la resistencia del rotor de motor eléctrico presenta un cierto número de ventajas, entre las cuales:

- Una cierta simplicidad ya que el procedimiento se integra fácilmente en la ley de control del motor eléctrico;
- El procedimiento puede ser ejecutado de una vez por todas durante la fase de parametrización del variador de velocidad con su motor eléctrico;
- La solución no necesita el empleo de un captador de velocidad del motor eléctrico y puede por tanto funcionar en bucle abierto.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de identificación de un valor (R_r) de resistencia de un rotor de motor (M) eléctrico de inducción, **caracterizado porque** comprende las etapas siguientes:
 - 5 a) Determinación de una tensión (u_s^{ref}) de referencia en función de un valor ($\hat{R}_r$) elegido por la resistencia del rotor del motor eléctrico,
 - b) Aplicación de una tensión (u_s) de control al motor eléctrico, dicha tensión de control que es determinada a partir de dicha tensión (u_s^{ref}) de referencia,
 - c) Adquisición de valores de corrientes (i_1, i_2, i_3) medidas en las tres fases del motor eléctrico de manera que se deduce una corriente (i_s) de estator del motor eléctrico,
 - 10 d) Comparación de la corriente (i_s) de estator obtenida con un valor (i_s^{ref}) predeterminado,
 - e) Corrección de dicho valor ($\hat{R}_r$) utilizado por la resistencia (R_r) del rotor en aplicación de las etapas a) a d) hasta obtener una corriente (i_s) de estator igual a dicho valor predeterminado.
2. Procedimiento de identificación de un valor (R_r) de resistencia del rotor de motor (M) eléctrico de inducción, **caracterizado porque** comprende las etapas siguientes:
 - 15 a) Determinación de una tensión (u_s^{mes}) de medida para la cual una corriente (i_s) de estator representativa de corrientes (i_1, i_2, i_3) medidas en las tres fases del motor eléctrico es igual a un valor (i_s^{ref}) predeterminado,
 - b) Determinación de una tensión (u_s^{ref}) de referencia en función del valor ($\hat{R}_r$) elegido para la resistencia del rotor del motor eléctrico,
 - 20 c) Comparación de dicha tensión de referencia con la tensión de medida,
 - d) Corrección de dicho valor ($\hat{R}_r$) utilizado para la resistencia (R_r) del rotor y aplicación de las etapas a) a c) hasta obtener una igualdad entre dicha tensión de referencia y la tensión de medida.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** dicho valor (i_s^{ref}) predeterminado corresponde a un valor nulo o próximo a cero.
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** se implementa según un principio de dicotomía que comprende varias iteraciones sucesivas y en el cual, en cada iteración, un intervalo en el cual se encuentra el valor buscado para resistencia del rotor es dividido por dos.
5. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** se implementa según un principio de gradiente que comprende varias iteraciones sucesivas y en el cual el valor ($\hat{R}_r$) elegido para la resistencia del rotor es modificado en cada iteración según el sentido del resultado de la etapa de comparación.
- 30 6. Sistema de identificación de un valor (R_r) de resistencia del rotor de un motor (M) eléctrico de inducción, **caracterizado porque** comprende:
 - a) Un módulo de determinación de una tensión (u_s^{ref}) de referencia en función del valor ($\hat{R}_r$) elegido por la resistencia del rotor del motor eléctrico,
 - 35 b) Un módulo de aplicación de tensiones (u_s) de control del motor eléctrico, dichas tensiones de control que son determinadas a partir de dicha tensión (u_s^{ref}) de referencia,
 - c) Un módulo de adquisición de valores de corrientes (i_1, i_2, i_3) medidas en las tres fases de motor eléctrico de manera que se deduce una corriente (i_s) de estator del motor eléctrico,
 - d) Un módulo de comparación de la corriente (i_s) de estator obtenida con un valor (i_s^{ref}) predeterminado,

- e) Un módulo de corrección de dicho valor ($\hat{R}_r$) utilizado por la resistencia (R_r) del rotor y ejecución de módulos a) a d) hasta obtener una corriente de estator igual a dicho valor (i_s^{ref}) predeterminado.
7. Sistema de identificación de un valor (R_r) de resistencia del rotor de un motor (M) eléctrico de inducción, **caracterizado porque** comprende:
- 5 a) Un módulo de determinación de una tensión (u_s^{mes}) de medida para la cual la corriente (i_s) de estator representativa de las corrientes (i_1, i_2, i_3) medidas en las tres fases del motor eléctrico es igual a un valor (i_s^{ref}) predeterminado,
- b) Un módulo de determinación de una tensión (u_s^{ref}) de referencia en función de un valor ($\hat{R}_r$) elegido para la resistencia del rotor del motor eléctrico,
- 10 c) Un módulo de comparación de dicha tensión de referencia con la tensión de medida,
- d) Un módulo de conexión de dicho valor ($\hat{R}_r$) utilizado por la resistencia (R_r) del rotor y la ejecución de los módulos a) a c) hasta obtener una igualdad entre dicha tensión de referencia y la tensión de medida.
8. Sistema según la reivindicación 6 o 7, **caracterizado porque** dicho valor predeterminado corresponde a un valor nulo o próximo a cero.
- 15 9. Sistema según la reivindicación 8, **caracterizado porque** está configurado para funcionar según un principio de dicotomía que comprende varias iteraciones sucesivas y en el cual, en cada iteración, un intervalo en el que se encuentra el valor buscado para la resistencia del rotor es dividido por dos.
10. Sistema según la reivindicación 8, **caracterizado porque** está configurado para funcionar según un principio de gradiente que comprende varias iteraciones sucesivas y en el cual el valor ($\hat{R}_r$) elegido para la resistencia del rotor es modificado en cada iteración según el sentido del resultado de la etapa de comparación.
- 20 11. Variador de velocidad destinado al control de un motor eléctrico, **caracterizado porque** comprende un sistema de control que comprenden sistema de identificación conforme al definido en una de las reivindicaciones 6 a 10.

Fig. 1

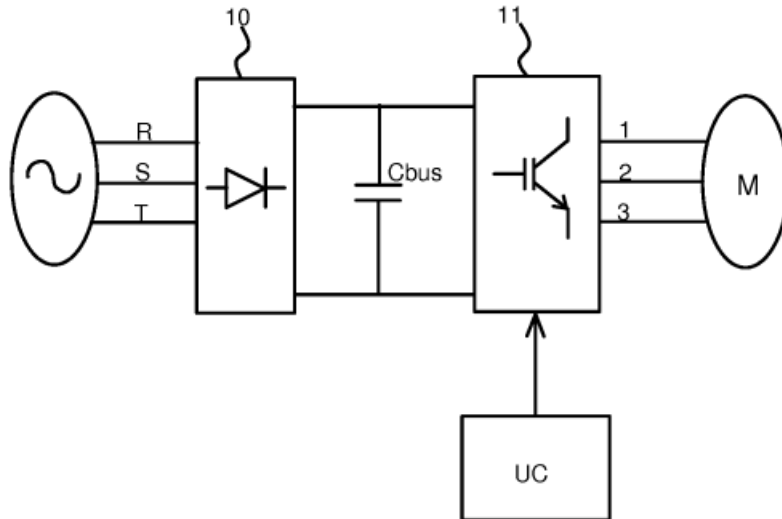


Fig. 2

