

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 678 919**

51 Int. Cl.:

H02P 21/00 (2006.01)

H02P 23/00 (2006.01)

H02P 21/14 (2006.01)

H02P 27/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2017** **E 17158695 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018** **EP 3229366**

54 Título: **Procedimiento de control de un motor eléctrico asíncrono**

30 Prioridad:

05.04.2016 FR 1652955

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

20.08.2018

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, rue André Blanchet
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 678 919 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 control de un motor eléctrico asíncrono

Campo técnico de la invención

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento de control de un motor eléctrico de tipo asíncrono y a un sistema de control que implementa dicho procedimiento para controlar dicho motor eléctrico.

Estado de la técnica

10 En un esquema de control convencional de un motor eléctrico de tipo asíncrono, se ejecuta una ley de control por una unidad de tratamiento y recibe a la entrada una referencia de velocidad (o referencia de pulsación) y una referencia de flujo. En función de estas dos informaciones y de las mediciones de las magnitudes sobre el motor (corriente y/o velocidad), la unidad de tratamiento determina una referencia de tensión a aplicar al motor eléctrico. A partir de esta referencia de tensión, la unidad de tratamiento determina las tensiones de control a aplicar sobre cada fase de salida conectada al motor. De manera conocida, estas tensiones se aplican al motor usando una arquitectura de electrónica de potencia.

15 Como regla general, esta arquitectura está conectada a una red eléctrica que proporciona una tensión eléctrica alterna. La arquitectura incluye un rectificador CA/CC, un bus continuo de alimentación conectado al rectificador y un inversor de tensión de tipo CC/CA. El inversor de tensión está controlado, por ejemplo, en Modulación de Ancho de Pulsos. Un inversor de este tipo suministra al motor una sucesión de pulsos de amplitud fija, positiva o negativa y modulados en ancho, según una ley de control de tensión.

20 La tensión máxima suministrada al motor eléctrico no puede rebasar la tensión disponible al nivel del bus continuo de alimentación.

25 En este esquema de control, se conoce que cuando se impone a la entrada una referencia de velocidad superior a un cierto umbral (cercana en general 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 sobre la red o con una limitación de tensión elegida para el motor a alimentar. En una situación de este tipo, para poder aplicar esta referencia de velocidad al motor eléctrico y, de este modo, obtener una tensión que el inversor puede generar, la unidad de tratamiento debe reducir necesariamente el valor del flujo y, de este modo, entrar en una zona de "reducción de flujo".

30 Este problema se ha abordado, en primer lugar, en la patente de los Estados Unidos US 5.204.607 que propone corregir la referencia de flujo cuando la referencia de tensión determinada se vuelve superior a la tensión que puede proporcionar el inversor. Para ello, el sistema efectúa una comparación entre la referencia de tensión y la tensión máxima que puede proporcionar el inversor. La diferencia calculada se usa para determinar un valor de corrección a aplicar a la referencia de flujo. La referencia de flujo se corrige en tanto en cuanto que la referencia de tensión para el inversor es inferior o igual a la tensión máxima que puede proporcionar el inversor. De este modo, la referencia de flujo y el flujo real están siempre de acuerdo, lo que evita la reducción de flujo. No obstante, en este sistema, las referencias de corriente no se corrigen dinámicamente, lo que no permite garantizarle las mismas propiedades de estabilidad en la zona de limitación de tensión y fuera de esta zona.

35 La patente de los Estados Unidos US7.221.117 propone otra solución que usa un modelo del motor eléctrico y que permite adaptar el flujo en limitación de tensión y, de este modo, asegurar la estabilidad del control del motor eléctrico en limitación de tensión. No obstante, en este último método, el hecho de alcanzar la limitación de tensión durante la reducción del flujo arrastra unas perturbaciones dinámicas transitorias sobre las magnitudes mecánicas del motor eléctrico y, en concreto, sobre el par del motor eléctrico.

40 La finalidad de la invención es, por lo tanto, proponer un procedimiento de control implementado en la unidad de tratamiento, que permite resolver los problemas de perturbaciones dinámicas relacionadas con el paso a región "con reducción de flujo".

Descripción de la invención

45 Esta finalidad se alcanza por un procedimiento de control de un motor eléctrico asíncrono, implementado en una unidad de tratamiento, estando dicha unidad de tratamiento asociada a un convertidor de potencia conectado por unas fases de salida a dicho motor eléctrico y dispuesta para ejecutar una ley de control con vistas a determinar unas tensiones a aplicar a dicho motor eléctrico a partir de una referencia de velocidad y de una referencia de flujo aplicadas a la entrada, incluyendo dicho procedimiento una fase de identificación que consiste en:

- Generar una trayectoria de velocidad a la entrada de la ley de control, de manera que se haga tomar a la referencia de velocidad varios valores sucesivos determinados,
- Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, determinar la tensión en los bornes del motor eléctrico,
- Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, determinar y memorizar el valor de flujo para el que la

tensión en los bornes del motor eléctrico es igual a un valor umbral determinado.

Según una particularidad, la trayectoria de velocidad sigue un perfil en escalera, de la que cada escalón corresponde a un valor distinto a aplicar.

5 Según un primer modo de realización, para cada valor tomado por la referencia de velocidad, el procedimiento consiste en:

- Hacer variar la referencia de flujo entre un valor mínimo y un valor máximo,
- Determinar la curva de variación de la tensión del motor obtenida durante la variación de la referencia de flujo,
- Determinar el valor de referencia de flujo para el que la tensión del motor es igual a dicho valor umbral.

10 En este primer modo de realización, el procedimiento consiste en determinar la intersección entre la constante formada por dicho valor umbral y la curva de variación de la tensión del motor obtenida durante la variación de la referencia de flujo a una referencia de velocidad dada.

Según un segundo modo de realización, para cada valor tomado por la referencia de velocidad, consiste en:

- Fijar la referencia de flujo a un valor determinado,
- Determinar la tensión del motor obtenida en función de dicho valor de la referencia de velocidad y de dicha de referencia de flujo aplicados a la entrada,
- 15 - Determinar la diferencia de tensión entre la tensión del motor obtenida y dicho valor umbral,
- Corregir el valor de referencia de flujo aplicado a la entrada hasta que la tensión del motor sea igual a dicho valor umbral,
- Memorizar el valor de referencia de flujo obtenido cuando la tensión del motor es igual a dicho valor umbral.

20 Según otra particularidad de la invención, el procedimiento incluye una fase de explotación que sigue a la fase de identificación y en la que cada valor de flujo memorizado en conexión con cada referencia de velocidad durante la fase de identificación puede emplearse para adaptar el flujo en tiempo real durante la ejecución de la ley de control del motor eléctrico.

25 La invención se refiere, igualmente, a un sistema de control de un motor eléctrico que comprende una unidad de tratamiento, estando dicha unidad de tratamiento asociada a un convertidor de potencia conectado por unas fases de salida a dicho motor eléctrico y dispuesto para aplicar unas tensiones variables a dicho motor eléctrico ejecutando una ley de control, dicho sistema, durante una fase de identificación, ejecuta:

- Un módulo de generación de una trayectoria de velocidad a la entrada de la ley de control, de manera que se haga tomar a la referencia de velocidad varios valores sucesivos determinados,
- 30 - Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, un módulo de determinación de la tensión en los bornes del motor eléctrico,
- Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, un módulo de determinación del valor de flujo para el que la tensión en los bornes del motor eléctrico es igual a un valor umbral determinado y un módulo de memorización de dicho valor de flujo determinado.

35 Según una particularidad del sistema, la trayectoria de velocidad generada por el módulo de generación de trayectoria sigue un perfil en escalera, de la que cada escalón corresponde a un valor distinto a aplicar.

Según un primer modo de realización, para cada valor tomado por la velocidad referencia, el sistema ejecuta:

- Un módulo de generación de una trayectoria de referencia de flujo entre un valor mínimo y un valor máximo,
- Un módulo de determinación de una curva de variación de la tensión del motor durante la variación de la referencia de flujo,
- 40 - Un módulo de determinación del valor de referencia del flujo para el que la tensión del motor es igual a dicho valor umbral.

45 Según una particularidad de este primer modo de realización, dicho módulo de determinación del valor de referencia de flujo está dispuesto para determinar la intersección entre la constante formada por dicho valor umbral y la curva de variación de la tensión del motor obtenida durante la variación de la referencia de flujo a una referencia de velocidad dada.

Según un segundo modo de realización, para cada valor tomado por la referencia de velocidad, el sistema fija la referencia de flujo a un valor determinado y ejecuta:

- Un módulo de determinación de la tensión del motor obtenida en función de dicho valor de referencia de velocidad y de dicho valor de referencia de flujo aplicados a la entrada,
- Un módulo de determinación de la diferencia de tensión entre la tensión del motor obtenida y dicho valor umbral,
- Un módulo para determinar una corrección a aplicar al valor de la referencia de flujo aplicado a la entrada hasta que la tensión del motor sea igual a dicho valor umbral,
- 50 - Un módulo de memorización del valor de referencia del flujo obtenido cuando la tensión del motor es igual a

dicho valor umbral.

Según una particularidad, durante una fase de explotación que sigue a la fase de identificación, está dispuesto para adaptar el flujo en tiempo real durante la ejecución de la ley de control del motor eléctrico a partir de los valores de flujo memorizados en conexión con las referencias de velocidad durante la fase de identificación.

5 **Breve descripción de las figuras**

Otras características y ventajas se mostrarán en la descripción detallada que sigue hecha con respecto a los dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 representa el esquema de un variador de velocidad convencional que consta del sistema de control de la invención.
- 10 - La figura 2 representa un sinóptico que ilustra el principio de funcionamiento del procedimiento de control de la invención, según un primer modo de realización.
- Las figuras 3A a 3D representan unas curvas que ilustran el principio de funcionamiento de la invención según el primer modo de realización.
- La figura 4 representa un sinóptico que ilustra el principio de funcionamiento del procedimiento de control de la invención, según un segundo modo de realización.
- 15 - La figura 5 representa una curva que conecta la referencia de flujo a la referencia de velocidad a una tensión máxima.

Descripción detallada de al menos un modo de realización

20 La invención descrita más abajo se aplica al control de un motor asíncrono (de inducción), preferentemente de alimentación trifásica. Se implementa en un esquema de control convencional de tipo vectorial o escalar, en bucle abierto, es decir, sin retorno de una medición de velocidad al nivel del motor eléctrico, o en bucle cerrado, es decir, con retorno de una medición de velocidad al nivel del motor eléctrico.

25 En la continuación de la descripción, se entiende por tensión del motor U_m , la amplitud del vector de la referencia de tensión que tiene las dos componentes U_{d_ref} y U_{q_ref} . Por otra parte, se conoce que se pasa del sistema de referencia giratorio (d,q) al sistema de referencia trifásico a,b,c que corresponde al sistema de referencia físico del motor eléctrico controlado. De este modo, se tiene, igualmente:

$$\begin{aligned}
 u_a &= U_m \cos(\theta) \\
 u_b &= U_m \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\
 u_c &= U_m \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right)
 \end{aligned}$$

30 Con u_a, u_b, u_c , los valores instantáneos de las tensiones aplicadas sobre cada fase de salida y θ el ángulo de defase aplicado entre tensiones aplicadas entre las fases de salida.

35 El procedimiento de control de la invención se implementa en un sistema de control que incluye una unidad de tratamiento UC. La unidad de tratamiento UC incluye 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 concreto, estar integrado en dicho variador de velocidad.

De manera conocida, el variador de velocidad incluye como regla general:

- Unas fases de entrada R, S, T conectadas a una red eléctrica que proporciona una tensión alterna.
- Un rectificador CA/CC 10, tal como, por ejemplo, un puente de diodos, destinado a transformar la tensión alterna proporcionada por la red en una tensión continua.
- 40 - Un bus continuo de alimentación conectado a la salida del rectificador y que incluye dos líneas de alimentación L1, L2 entre las que está aplicada la tensión continua.
- Al menos un condensador de bus Cbus conectado entre las dos líneas de alimentación del bus y destinado a retener la tensión continua a un valor constante.
- Un inversor CC/CA 11 conectado al bus continuo de alimentación y que comprende varios transistores de potencia, por ejemplo, de tipo IGBT, controlados por la unidad de tratamiento, de manera que se apliquen las tensiones requeridas sobre unas fases de salida conectadas al motor eléctrico. El control del inversor 11 está realizado, por ejemplo, por unas técnicas tradicionales de tipo MAP (Modulación por Ancho de Pulso) o CDP (Control Directo de Par). Una ley de control ejecutada por la unidad de tratamiento UC permite determinar las tensiones a aplicar sobre las fases de salida.
- 45 - Unas fases de salida a,b,c destinadas a estar conectadas al motor eléctrico M a controlar.

De manera no limitativa, la invención se describirá para una ley de control de tipo escalar en U/F y en bucle abierto.

Hay que comprender que el método descrito más abajo será idéntico sea la que sea la ley de control empleada.

De manera conocida con referencia a las figuras 2 y 4, una ley de control escalar en U/F convencional, ejecutada por la unidad de tratamiento para el control de un motor eléctrico asíncrono en bucle abierto, incluye las siguientes características principales:

- 5 - Una referencia de velocidad, que corresponde a la pulsación eléctrica ω_s de las corrientes a inyectar al estátor y una referencia de flujo $\bar{\phi}$ se aplican a la entrada.
- La unidad de tratamiento UC, a partir de un módulo M1 calculador de tensión, determina una referencia de tensión directa u_{d_ref} y una referencia de tensión en cuadratura u_{q_ref} .
- 10 - A partir de las dos componentes de tensión, la unidad de tratamiento UC ejecuta un módulo M2 de limitación de tensión a un valor $U_{m\acute{a}x}$ determinado, función de la tensión límite U_{lim} que puede proporcionar el variador de velocidad al motor eléctrico M. Se tendrá, por ejemplo:

$$U_{m\acute{a}x} = 0,95 \times U_{lim}$$

- A la salida del módulo M2 de limitación, se obtiene una referencia de tensión directa limitada u_d y una referencia de tensión en cuadratura limitada \bar{u}_q basándose en las cuales se determinan las tensiones a aplicar a la salida.
- 15 - A partir de las dos tensiones, un módulo M3 aplica una transformación de Park para determinar las tensiones u_a, u_b, u_c a aplicar sobre cada fase de salida.
- La unidad de tratamiento ejecuta, igualmente, un módulo M4 de determinación del ángulo de defase θ_s a aplicar entre las tensiones u_a, u_b, u_c a aplicar al motor a partir de la pulsación ω_s introducida a la entrada.

20 Por supuesto, pueden implementarse otros módulos por la unidad de tratamiento, pero estos no se detallarán en la presente solicitud.

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

25 La invención se refiere a un procedimiento de control que incluye una fase de identificación realizada preferentemente de manera previa a dicha fase de explotación. Esta fase de identificación tiene como propósito determinar, para diferentes pulsaciones ω_s aplicadas a la entrada, los valores de flujo para los que la tensión del motor es igual a un valor umbral determinado. Este valor umbral estará preferentemente relacionado con el valor U_{lim} de la tensión límite que puede proporcionar el variador de velocidad. Este valor umbral, designado $U_{m\acute{a}x}$, se elige inferior al valor U_{lim} de tensión límite. Este valor umbral se memoriza preferentemente por la unidad de tratamiento y es, por ejemplo, igual a:

$$U_{m\acute{a}x} = 0,95 \times U_{lim}$$

30 Durante el funcionamiento normal del motor eléctrico M, los valores de flujo identificados van a permitir adaptar en tiempo real, en caso necesario, el valor de la referencia de flujo $\bar{\phi}$ y, de este modo, evitar una limitación de tensión.

35 Dicho de otra manera, se trata de construir un perfil de curva que conecta la amplitud de la referencia de flujo a la pulsación ω_s a una tensión de umbral determinado, por ejemplo, igual al valor umbral definido más arriba. Un perfil de este tipo se representa en la figura 5. En funcionamiento normal, si el flujo del motor eléctrico permanece en una amplitud que está situada por debajo de esta curva, entonces, el motor eléctrico M no alcanza la limitación de tensión.

La demostración que sigue permite mostrar que una variación del flujo tiene una incidencia sobre la tensión del motor.

40 Las ecuaciones eléctricas de un motor asíncrono en el sistema de referencia giratorio d,q, según un modelo estándar, son las siguientes (anotación en forma compleja):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \phi = -[T_r^{-1} + j(\omega_s - \omega_r)] \phi + R_{r\epsilon q} i_s \\ L_f \frac{di_s}{dt} = -(R_s + R_{r\epsilon q} + jL_f \omega_s) i_s + (T_r^{-1} - j\omega_r) \phi + u_s \end{cases}$$

Con: $R_{r\epsilon q} = R_r \frac{L_m^2}{L_s^2}$, $T_r = \frac{L_r}{R_r}$, $L_f = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$ et $\phi = \frac{L_m}{L_r} \Phi_r$. Los parámetros eléctricos son:

- 45 R_s : resistencia estatórica;
- R_r : resistencia rotórica;

L_s : inductancia estatórica;
 L_r : inductancia rotórica
 L_m : inductancia mutua entre el estátor y el rotor.

Las variables son:

- 5 Φ_r : flujo rotórico.
 i_s : corriente estatórica.
 u_s : tensión del motor.
 ω_s : pulsación eléctrica.
 ω_r : velocidad mecánica multiplicado por el número de parejas de polo.

- 10 Como ya se ha explicado, la tensión proporcionada por el variador de velocidad al motor eléctrico no puede rebasar un valor límite U_{lim} , de este modo, la amplitud de la tensión del motor está sometida a la siguiente exigencia:

$$|u_s| < U_{lim}$$

En equilibrio, la tensión del motor es:

$$u_s = (R_s + jL_s\omega_s)i_s + j\omega_s\phi$$

- 15 La amplitud de la tensión del motor $U_m = |u_s|$ aumenta con el módulo del flujo $|\phi|$ o la pulsación ω_s . La figura 3D ilustra un ejemplo de la relación entre la tensión y el flujo de un motor asíncrono a velocidad constante. De ello se deduce que, para evitar que la tensión del motor U_m sea superior a la tensión límite U_{lim} con una velocidad constante, es suficiente con reducir el valor del flujo.

- 20 La fase de identificación de los valores de flujo puede implementarse según diferentes modos de realización. Las figuras 2 y 4 ilustran dos modos de realización distintos. En estas dos figuras, los bloques función que permiten implementar la fase de identificación están incluidos en el bloque con tono gris.

- 25 En estos dos modos de realización, la fase de identificación consiste en barrer todo un intervalo de pulsación según una trayectoria de pulsación. La unidad de tratamiento UC ejecuta un módulo M5 de trayectoria de pulsación para hacer tomar a la pulsación ω_s varios valores sucesivos. Como se representa en la figura 3A, se trata, por ejemplo, de un perfil en escalera seguido por la pulsación ω_s , representando cada peldaño de la escalera un valor distinto tomado la pulsación ω_s , durante una duración determinada.

Para cada uno de los valores tomados, de este modo, por la pulsación ω_s , la unidad de tratamiento UC va a determinar el valor de flujo $|\phi|$ para el que la tensión del motor U_m es igual al valor umbral predefinido, es decir, igual al valor $U_{m\acute{a}x}$.

- 30 Con referencia a la figura 2, según el primer modo de realización, la unidad de tratamiento implementa las siguientes etapas:

- Para cada valor de pulsación $\omega_s = \omega_i$ (con i comprendido entre 1 y N) que sigue la trayectoria de pulsación generada por el módulo M5 aplicado a la entrada, la unidad de tratamiento UC ejecuta un módulo M6 de trayectoria de flujo que permite hacer variar la referencia de flujo entre dos valores extremos, es decir, entre un valor de flujo mínimo y un valor de flujo máximo. El perfil de variación del flujo entre los dos valores extremos y para cada valor de referencia de velocidad se representa en la figura 3B. De este modo, se tiene:

$$\Phi_{mín} < |\bar{\Phi}| < \Phi_{máx}$$

- Para cada valor de pulsación ω_i y para cada valor tomado por la referencia de flujo, la unidad de tratamiento UC determina la tensión del motor U_m . Para ello, ejecuta el módulo M1 calculador de tensión mencionado más arriba.
- 40 - La unidad de tratamiento UC obtiene, de este modo, un perfil de variación de tensión en función de la referencia de flujo aplicada a la entrada, a pulsación constante. Un perfil de este tipo se representa en la figura 3D.
- A partir del perfil de variación de tensión obtenido de este modo, la unidad de tratamiento UC determina, a continuación, para qué valor de la referencia de flujo aplicado a la entrada, la tensión del motor U_m es igual al valor umbral definido, es decir, al valor $U_{m\acute{a}x}$. Para ello, se trata justo de ejecutar un módulo M7 para determinar la intersección entre la constante definida por $U_{m\acute{a}x}$ y la curva de variación de la tensión. La figura 3B muestra, de este modo, para cada valor tomado por la pulsación $\omega_s = \omega_i$ el valor de la referencia de flujo para el que la tensión del motor es igual al valor umbral $U_{m\acute{a}x}$. Por supuesto, puede considerarse cualquier método de determinación adaptado.
- 45 - Para cada valor de la referencia de velocidad, la unidad de tratamiento UC memoriza (M10) el valor de la referencia de flujo para el que la tensión del motor es igual al valor umbral $U_{m\acute{a}x}$.

La unidad de tratamiento implementa estas diferentes etapas para los N valores tomados por la pulsación, sobre todo el intervalo, tal que:

$$\omega_{mín} < \omega_s < \omega_{máx}$$

5 Con referencia a la figura 4, según el segundo modo de realización, la unidad de tratamiento UC implementa las siguientes etapas:

- Para cada valor de pulsación $\omega_s = \omega_i$ (con i comprendido entre 1 y N) aplicado en referencia, la unidad de tratamiento UC aplica a la entrada una referencia de flujo $\bar{\Phi}$ fijada a un valor determinado (por ejemplo, de manera arbitraria).
- 10 - En función del valor de la pulsación ω_i y del valor de la referencia de flujo $\bar{\Phi}$ aplicados a la entrada, la unidad de tratamiento UC determina la tensión del motor U_m en el módulo M1 calculador de tensión.
- La unidad de tratamiento UC implementa un módulo de comparación M8 entre el valor de la tensión del motor U_m calculado et el valor umbral $U_{máx}$.
- La diferencia entre las dos tensiones se inyecta en un regulador de acción proporcional integral M9 para corregir el valor de la referencia de flujo aplicado a la entrada.
- 15 - El bucle de regulación se implementa hasta que la tensión del motor U_m esté a un valor igual al valor umbral $U_{máx}$.
- Cuando se alcanza la igualdad, la unidad de tratamiento UC memoriza (M10) el valor de la referencia de flujo correspondiente que se aplica a la entrada.

20 En este segundo modo de realización, las diferentes etapas se implementan, igualmente, por la unidad de tratamiento para los N valores tomados por la referencia de velocidad, sobre todo el intervalo, tal que:

$$\omega_{mín} < \omega_s < \omega_{máx}$$

25 A la salida de la fase de identificación, implementada según uno o el otro de los modos de realización descrito más arriba, se obtienen N pares de $(\omega_i, |\bar{\Phi}_i|)$ tales que $i = 1, 2, 3 \dots N$. Estos valores constituyen una curva $|\bar{\Phi}| = f(\omega_s)$ tal como se representa en la figura 5. Si el flujo del motor eléctrico está por debajo de esta curva, entonces el motor eléctrico no alcanza la limitación de tensión.

Al final de la fase de identificación, los valores obtenidos de $(\omega_i, |\bar{\Phi}_i|)$ con $i = 1, 2, 3 \dots N$ se almacenan en la memoria de la unidad de tratamiento UC. Estos valores están destinados a emplearse durante el funcionamiento del motor, durante la fase de explotación, para adaptar el valor del flujo en tiempo real en función de la pulsación solicitada a la entrada, con el fin de evitar la limitación de tensión.

30 Durante el funcionamiento normal, el perfil de flujo puede aplicarse en diferentes formas:

- A partir de una tabla memorizada. Los N pares de $(\omega_i, |\bar{\Phi}_i|)$ pueden memorizarse en forma de una tabla a la que hace referencia la unidad de tratamiento UC para verificar que el par, que incluye la referencia de velocidad y la referencia de flujo, aplicado a la entrada se sitúa bien por debajo el perfil determinado y para adaptar en tiempo real el valor de la referencia de flujo al valor memorizado si la pulsación ω_s solicitada rebasa un cierto umbral.
- 35 - A partir de una función racional paramétrica donde los parámetros de esta función se calculan a partir de unos puntos ya identificados (por interpolación). Visto el perfil de la curva representada en la figura 5, la interpolación se realiza, por ejemplo, a partir de una hipérbola, tal como se define por la siguiente expresión:

$$|\bar{\Phi}| = \begin{cases} \frac{\Phi_n}{\alpha \left(\left| \frac{\omega_s}{\omega_n} \right| - x_0 \right) + 1} & \text{si } \left| \frac{\omega_s}{\omega_n} \right| > x_0 \\ \Phi_n & \text{si } \left| \frac{\omega_s}{\omega_n} \right| \leq x_0 \end{cases}$$

En la que:

- Φ_n es el flujo nominal.
- 45 - ω_n es la pulsación nominal.
- α y x_0 son unas constantes y se interpolan a partir de los datos de la curva de la figura 5.

El método descrito más arriba será válido sea la que sea la ley de control empleada, consistiendo este método de manera general en formar N pares de $(\omega_i, |\Phi_i|)$ tales que $i = 1, 2, 3 \dots N$ para los que la tensión del motor es igual al valor umbral definido por $U_{m\acute{a}x}$.

La solución de la invención presenta, de este modo, numerosas ventajas, listadas más abajo:

- 5 - Es sencilla de implementar, ya que no necesita medios suplementarios.
 - Puede implementarse para el control de un motor eléctrico asíncrono, sea el que sea el tipo de control aplicado a este motor.
 - Es fiable y permite evitar de manera cierta el funcionamiento en limitación de tensión en caso de reducción de flujo y, de este modo, las perturbaciones dinámicas transitorias sobre las magnitudes mecánicas del motor que
- 10 pueden derivarse de ello.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de control de un motor eléctrico (M) asíncrono, implementado en una unidad de tratamiento, estando dicha unidad de tratamiento asociada a un convertidor de potencia conectado por unas fases de salida (a, b, c) a dicho motor eléctrico (M) y dispuesta para ejecutar una ley de control con vistas a determinar unas tensiones a aplicar a dicho motor eléctrico a partir de una referencia de velocidad y de una referencia de flujo aplicadas a la entrada, **caracterizado porque** incluye una fase de identificación que consiste en:
- Generar una trayectoria de velocidad a la entrada de la ley de control, de manera que se haga tomar a la referencia de velocidad varios valores sucesivos determinados,
 - 10 - Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, determinar la tensión (U_m) en los bornes del motor eléctrico (M),
 - Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, determinar y memorizar el valor de flujo para el que la tensión en los bornes del motor eléctrico es igual a un valor umbral determinado ($U_{m\acute{a}x}$).
- 15 2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la trayectoria de velocidad sigue un perfil en escalera, de la que cada escalón corresponde a un valor distinto a aplicar.
- 15 3. Procedimiento de control según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** para cada valor tomado por la referencia de velocidad, consiste en:
- Hacer variar la referencia de flujo entre un valor mínimo y un valor máximo,
 - Determinar la curva de variación de la tensión del motor (U_m) obtenida durante la variación de la referencia de flujo,
 - 20 - Determinar el valor de referencia de flujo para el que la tensión del motor es igual a dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$).
4. Procedimiento de control según la reivindicación 3, **caracterizado porque** consiste en determinar la intersección entre la constante formada por dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$) y la curva de variación de la tensión del motor (U_m) obtenida durante la variación de la referencia de flujo a una referencia de velocidad dada.
- 25 5. Procedimiento de control según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** para cada valor tomado por la referencia de velocidad, consiste en:
- Fijar la referencia de flujo a un valor determinado,
 - Determinar la tensión del motor obtenida en función de dicho valor de la referencia de velocidad y de dicha referencia de flujo aplicados a la entrada,
 - 30 - Determinar la diferencia de tensión entre la tensión del motor obtenida y dicho valor umbral,
 - Corregir el valor de referencia de flujo aplicado a la entrada hasta que la tensión del motor sea igual a dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$),
 - Memorizar el valor de referencia de flujo obtenido cuando la tensión del motor es igual a dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$).
- 35 6. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** incluye una fase de explotación que sigue a la fase de identificación y en la que cada valor de flujo memorizado en conexión con cada referencia de velocidad durante la fase de identificación puede emplearse para adaptar el flujo en tiempo real durante la ejecución de la ley de control del motor eléctrico.
- 40 7. Sistema de control de un motor eléctrico (M), que comprende una unidad de tratamiento, estando dicha unidad de tratamiento asociada a un convertidor de potencia conectado por unas fases de salida (a, b, c) a dicho motor eléctrico (M) y dispuesto para aplicar unas tensiones variables a dicho motor eléctrico ejecutando una ley de control, **caracterizado porque** durante una fase de identificación, ejecuta:
- Un módulo (M5) de generación de una trayectoria de velocidad a la entrada de la ley de control, de manera que se haga tomar a la referencia de velocidad varios valores sucesivos determinados,
 - 45 - Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, un módulo (M1) de determinación de la tensión (U_m) en los bornes del motor eléctrico (M),
 - Para cada valor tomado por la referencia de velocidad, un módulo (M7, M9) de determinación del valor de flujo para el que la tensión en los bornes del motor eléctrico es igual a un valor umbral determinado ($U_{m\acute{a}x}$) y un módulo de memorización (10) de dicho valor de flujo determinado.
- 50 8. Sistema según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la trayectoria de velocidad generada por el módulo (M5) de generación de trayectoria sigue un perfil en escalera, de la que cada escalón corresponde a un valor distinto a aplicar.
9. Sistema según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado porque** cada valor tomado por la velocidad de referencia, ejecuta:
- Un módulo (M6) de generación de una trayectoria de referencia de flujo entre un valor mínimo y un valor

máximo,

- Un módulo (M1) de determinación de una curva de variación de la tensión del motor (U_m) durante la variación de la referencia de flujo,
- Un módulo de determinación del valor de referencia del flujo para el que la tensión del motor es igual a dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$).

5 10. Sistema según la reivindicación 9, **caracterizado porque** dicho módulo de determinación del valor de referencia de flujo está dispuesto para determinar la intersección entre la constante formada por dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$) y la curva de variación de la tensión del motor (U_m) obtenida durante la variación de la referencia de flujo a una referencia de velocidad dada.

10 11. Sistema según la reivindicación 5 u 6, **caracterizado porque** para cada valor tomado por la referencia de velocidad, fija la referencia de flujo a un valor determinado y ejecuta:

- Un módulo (M1) de determinación de la tensión del motor obtenida en función de dicho valor de referencia de velocidad y de dicho valor de referencia de flujo aplicados a la entrada,
- Un módulo (M8) de determinación de la diferencia de tensión entre la tensión del motor obtenida y dicho valor umbral,
- Un módulo (M9) para determinar una corrección a aplicar al valor de la referencia de flujo aplicado a la entrada hasta que la tensión del motor sea igual a dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$),
- Un módulo (M10) de memorización del valor de referencia del flujo obtenido cuando la tensión del motor es igual a dicho valor umbral ($U_{m\acute{a}x}$).

15 20 12. Sistema según una de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizado porque** durante una fase de explotación que sigue a la fase de identificación, está dispuesto para adaptar el flujo en tiempo real durante la ejecución de la ley de control del motor eléctrico a partir de los valores de flujo memorizados en conexión con las referencias de velocidad durante la fase de identificación.

Fig. 1

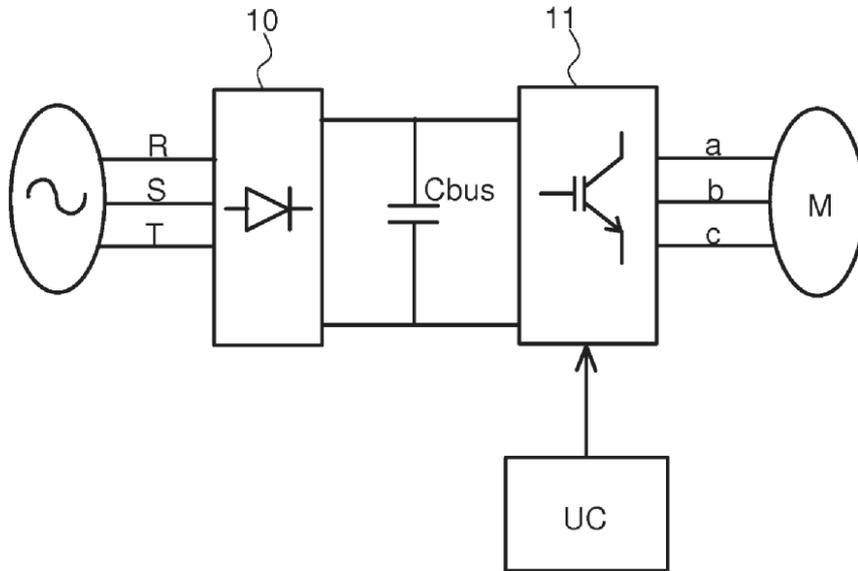


Fig. 2

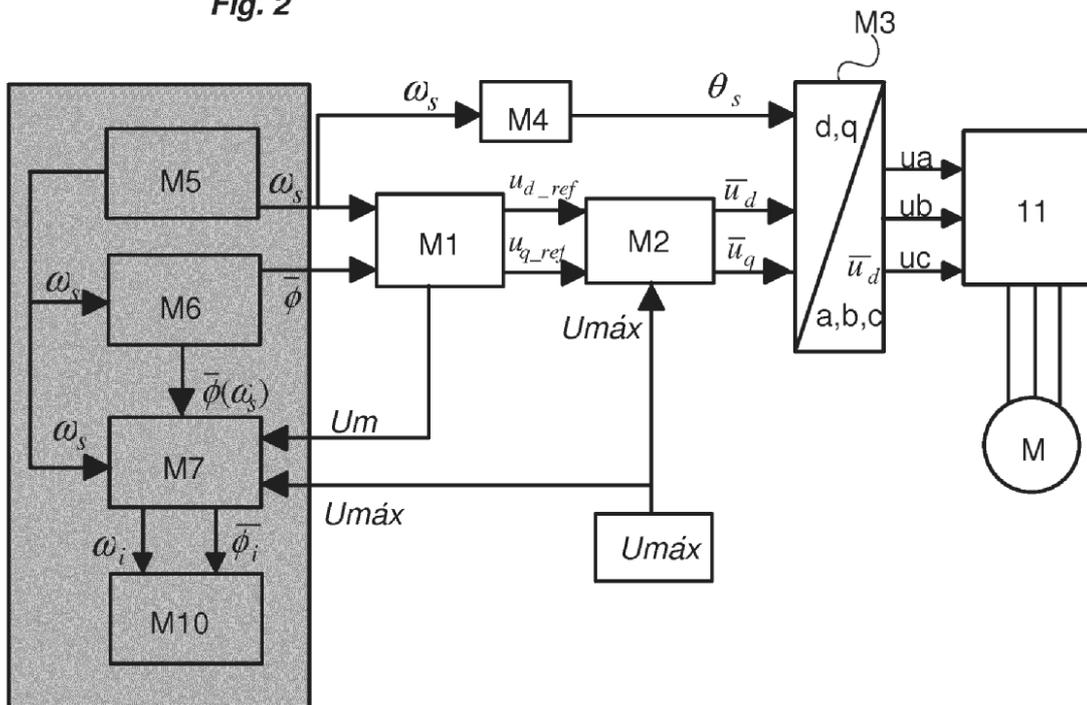


Fig. 3A

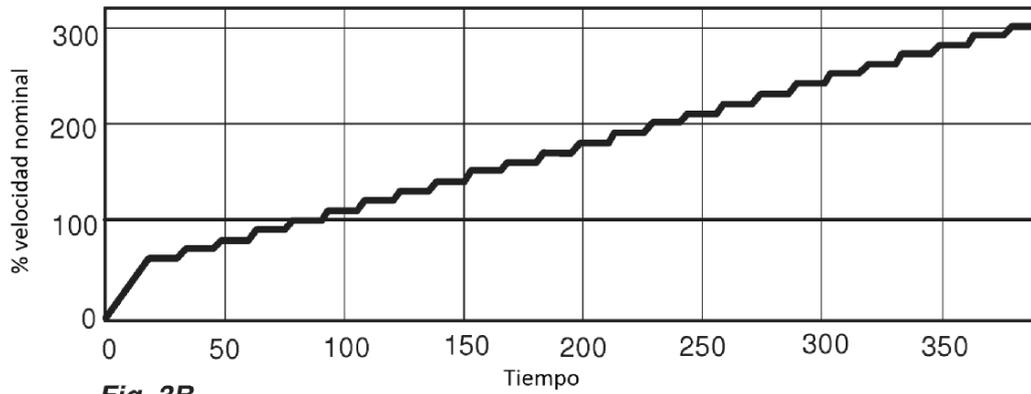


Fig. 3B

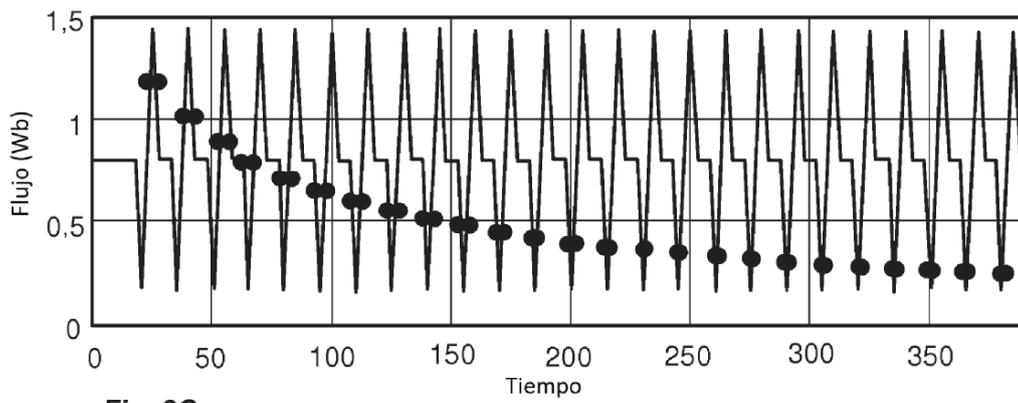


Fig. 3C

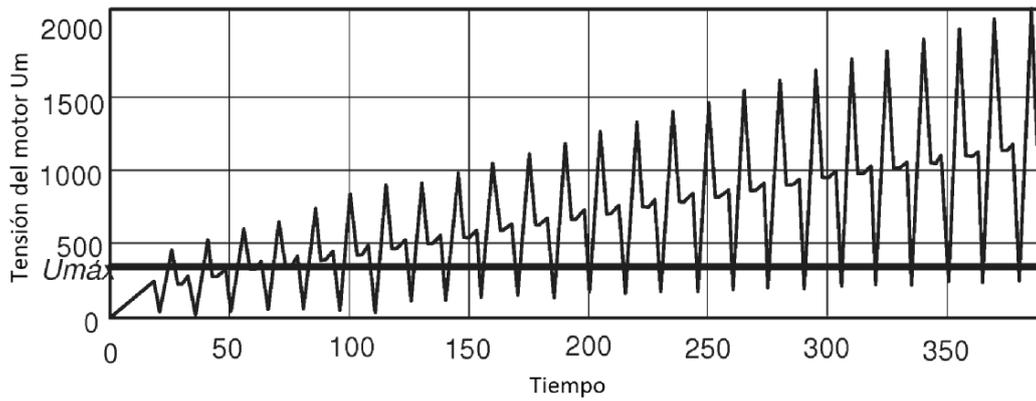


Fig. 3D

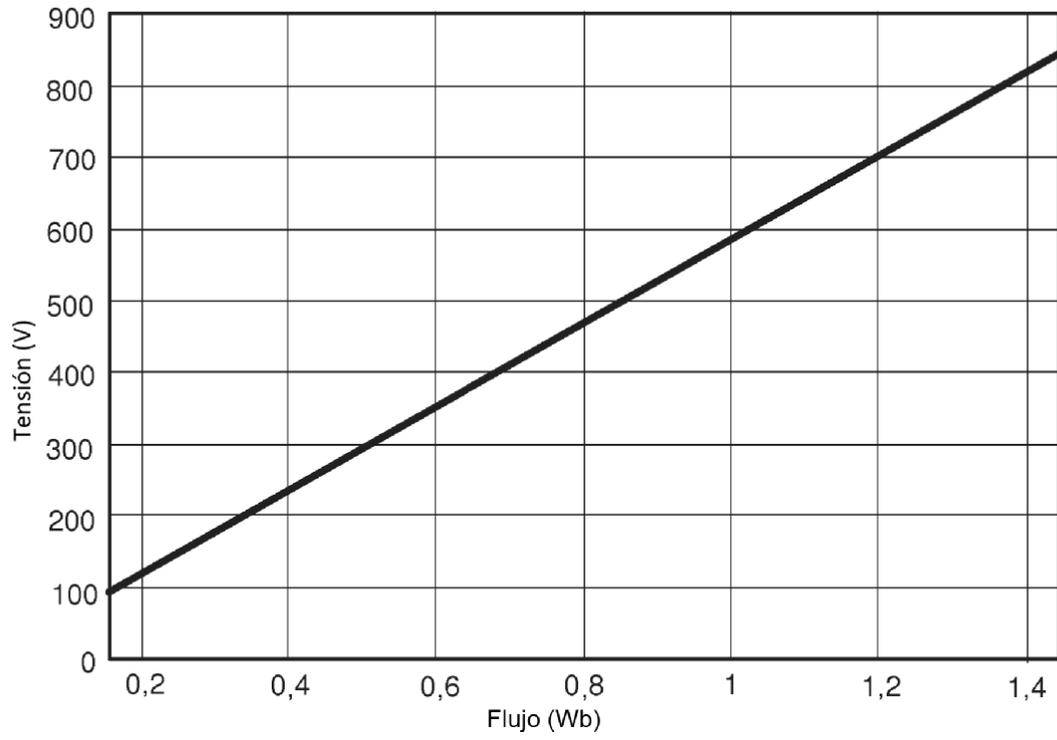


Fig. 4

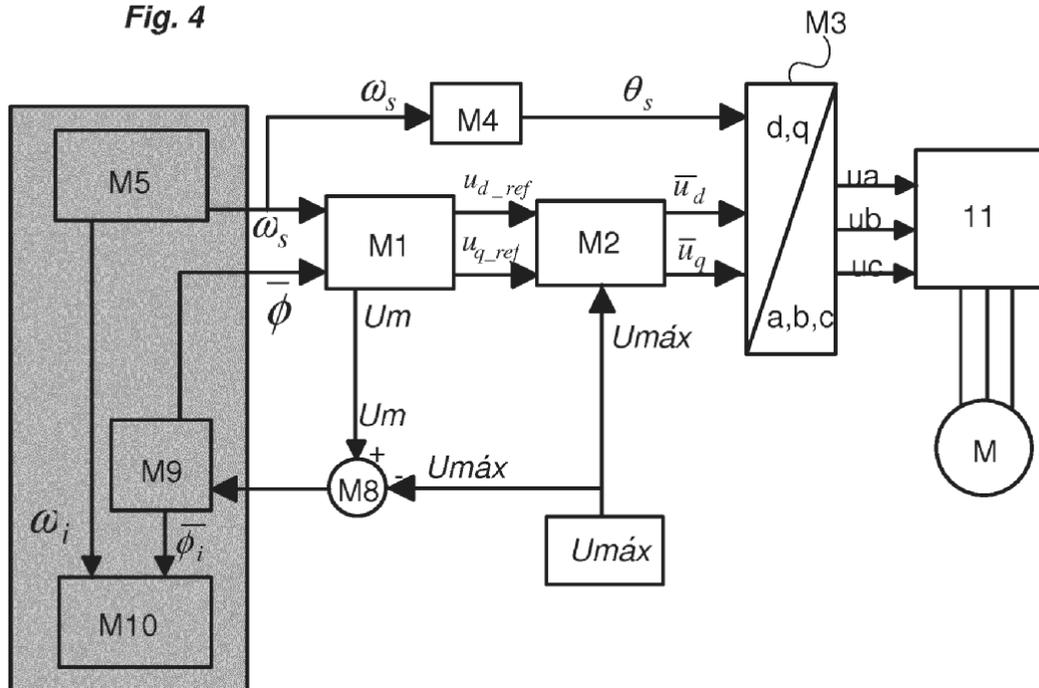


Fig. 5

