

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 760**

21 Número de solicitud: 201630198

51 Int. Cl.:

H02P 21/14 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

22.02.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

23.08.2017

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**Ramiro de Maeztu 7
28040 Madrid ES**

72 Inventor/es:

**MORENO-TORRES CONCHA, Pablo;
RODRIGUEZ ARRIBAS, Jaime;
LAFOZ PASTOR, Marcos y
BLANCO AGUADO, Marcos**

74 Agente/Representante:

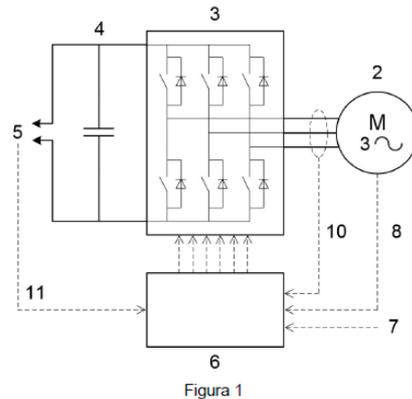
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **Método y sistema para optimizar la corriente consumida por un accionamiento eléctrico con un motor síncrono**

57 Resumen:

Método y sistema para optimizar la corriente consumida por un accionamiento eléctrico con un motor síncrono.

La presente invención se refiere a un método y un sistema para optimizar la corriente consumida por un accionamiento eléctrico que comprende una máquina síncrona rotatoria controlada por un convertidor electrónico y una unidad de control que regula la velocidad y determina los valores de una o más variables de un control vectorial. Modificando una variable de control y siguiendo una estrategia de perturbación y observación se determina el punto de funcionamiento de mínima corriente en base a una medida de la corriente consumida por el accionamiento en su conjunto (seguimiento del punto de mínima corriente o minimum current point tracking).



DESCRIPCIÓN

Método y sistema para optimizar la corriente consumida por un accionamiento eléctrico con un motor síncrono.

5

SECTOR TÉCNICO

Control de máquinas eléctricas rotatorias.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

10 Las máquinas síncronas de imanes permanentes y las máquinas síncronas de reluctancia son dos tipos de máquinas eléctricas rotatorias de invención relativamente reciente. Su principal aplicación industrial es en accionamientos eléctricos de velocidad variable, tales como los vehículos eléctricos o como los sistemas de almacenamiento cinético de energía (volantes de inercia). Las principales ventajas de las máquinas síncronas de imanes son su
15 eficiencia energética – del orden del 95% para máquinas en el rango de potencia entre 10 y 100 kW – y su elevada densidad de potencia – definida como el ratio entre la potencia nominal y el volumen de la máquina. En cuanto a las máquinas síncronas de reluctancia, suponen una alternativa muy interesante a las máquinas de inducción en accionamientos de velocidad variable, puesto que son igual de robustas y sin embargo su rendimiento
20 energético es mayor.

Tanto las máquinas síncronas de imanes como las síncronas de reluctancia tienen en común que necesitan un convertidor electrónico de potencia para ser controladas eficazmente, dada su naturaleza síncrona. Concretamente, necesitan de un dispositivo de
25 potencia que las alimente con un perfil determinado de tensiones/corrientes de amplitud y frecuencia variable. Dicho de otra forma, la alimentación de estas máquinas debe adaptarse al punto de funcionamiento par-velocidad. Por este motivo, para alimentar este tipo de máquinas se utiliza un convertidor electrónico de potencia, habitualmente un inversor trifásico cuya etapa de continua se conecta a una fuente de potencia bidireccional (como por
30 ejemplo una batería u otro convertidor electrónico). La Figura 1 muestra el esquema de potencia más habitual en accionamientos de velocidad variable con este tipo de máquinas.

Tanto en las máquinas síncronas de imanes permanentes como en las síncronas de reluctancia se aplica habitualmente un método de control concreto, denominado control
35 vectorial, que consiste en desacoplar las variables de control para así poder controlar de forma independiente el flujo y el par de la máquina. Con este método, las tres corrientes de

fase se transforman en dos componentes ortogonales de un vector espacial, denominadas “componente directa” y “componente en cuadratura” o simplemente componentes “d” y “q”: la primera define el campo magnético, mientras que la segunda define el par, de manera que es posible controlar cualquiera de estas variables sin afectar a la otra. Dentro de la categoría de control vectorial, existen varias alternativas o métodos de control, como por ejemplo el control de campo orientado, el control directo de par, el “direct self-control”, o el control predictivo.

Existen varias estrategias de control bien establecidas para máquinas síncronas de imanes permanentes y para máquinas síncronas de reluctancia. La más popular de todas ellas es la denominada “*Maximum Torque Per Ampere*” (MTPA), que consiste en proporcionar el par demandado a la máquina con la menor corriente posible, minimizando ésta y consecuentemente la mayoría de las pérdidas del accionamiento. Esta minimización no se realiza en tiempo real, sino que se obtiene previamente a partir de cálculos o de ensayos experimentales. El MTPA es sencillo conceptualmente, robusto y fácil de aplicar, además de muy eficiente energéticamente, lo cual lo ha convertido en la estrategia de control por excelencia para este tipo de máquinas. Una de las primeras propuestas de implementación de un control MTPA, debilitamiento de campo incluido, está contenida en “Field weakening with full range torque control for synchronous machines” (US2004100221A1, 2004) de Fu Zhenxing. La patente “Flux-weakening control method of permanent magnet synchronous motor” (CN104135202A, 2014), del inventor Luo Qinglin, presenta una forma concreta de implementación del MTPA cuyas principales ventajas son su sencillez y su correspondiente menor coste computacional. Otro ejemplo de implementación se describe en “Apparatus for operating an interior permanent magnet synchronous motor” (CN102868348A, 2013). Otras dos patentes, “Method and system for controlling an electric motor for a vehicle” (US2013181642A1) de Khan Ahmad *et al.*; y “Device and method for generating an initial controller lookup table for an ipm machine” (CN103891129A, 2014), de Wu Long, proponen métodos para el cálculo de la tabla de búsqueda o “look-up table” necesaria para la implementación de un control MTPA en máquinas de imanes permanentes. Por último, la patente “Speed control device of an interior buried permanent magnetic synchronous motor” (KR20120126421A, 2012) describe un procedimiento para implementar un control MTPA con un inversor multinivel en lugar de con un inversor convencional.

A continuación se describe muy brevemente en qué consiste el control MTPA. El par proporcionado por una máquina síncrona de imanes permanentes viene dado por la siguiente expresión:

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\lambda_d \cdot I_q - \lambda_q \cdot I_d) = \frac{3}{2} \cdot p \cdot [\lambda_{PM} \cdot I_q + (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q] \quad (1)$$

donde p es el número de pares de polos, λ_{PM} es el enlace de flujo debido a los imanes permanentes, L_d y L_q son las inductancias en el eje directo y en el eje en cuadratura (definiendo el eje directo como el eje de una referencia solidaria al rotor, según la dirección del polo magnético establecido por los imanes y el eje en cuadratura, un eje a 90° eléctricos respecto al anterior), mientras que I_d e I_q son las componentes del vector corriente en dichos ejes. Es decir, que el par tiene dos componentes, una proporcional a la componente en cuadratura de la corriente (I_q), denominada "par síncrono"; y otra proporcional tanto a I_d (componente directa de la corriente) como a I_q , denominada "par de reluctancia". En el caso de una máquina síncrona de reluctancia, la expresión para el par es igual pero sin la componente de par síncrono. Por tanto, el par de este tipo de máquinas depende de dos variables de control: las corrientes I_d e I_q . La ecuación anterior implica que existen múltiples combinaciones de parejas [I_d , I_q] capaces de proporcionar un determinado par. Dicho de otra forma, ante una demanda de par determinada el accionamiento puede funcionar con multitud de valores de [I_d , I_q] diferentes. El MTPA consiste precisamente en un criterio para elegir qué pareja de corrientes [I_d , I_q] emplear para cada valor de par. El criterio es elegir la pareja que implique menos corriente de fase; es decir, que minimice la siguiente expresión:

$$I_s = k \cdot \sqrt{(I_d^2 + I_q^2)} \quad (2)$$

El control MTPA presenta dos inconvenientes. El primero es que no optimiza todas las pérdidas en el accionamiento, puesto que sólo tiene en cuenta minimizar la corriente e ignora algunos tipos de pérdidas tales como las pérdidas en el hierro de la máquina. Durante la última década, se han propuesto estrategias de control alternativas al MTPA en un intento de mejorar aún más la eficiencia energética de este tipo de accionamientos. El estado del arte recoge soluciones que emplean un enfoque empírico para maximizar la eficiencia en máquinas síncronas de imanes permanentes mediante la inclusión de las pérdidas en el hierro en el proceso de optimización. Por ejemplo, una de esas soluciones se basa en el cálculo del vector de corriente óptimo en tiempo real mediante una optimización por fuerza bruta, basada en un modelo de la máquina previamente parametrizado. Otras soluciones del estado del arte proponen un acercamiento con una base más teórica, por ejemplo incluyendo una formulación para la estimación de las pérdidas en el hierro mediante un modelo matemático de la máquina eléctrica. Todas estas propuestas logran mejorar la eficiencia energética del sistema con respecto al MTPA, aunque tienen el inconveniente de que se trata de desarrollos específicos para una máquina en concreto, con un número considerable de parámetros a determinar mediante simulaciones o ensayos.

Otra desventaja del control MTPA es su limitada capacidad para adaptarse a la variación de parámetros de la máquina eléctrica. La trayectoria MTPA no es constante, sino que varía con la saturación, con la temperatura y con el envejecimiento de la máquina (por ejemplo, por desmagnetizaciones parciales irreversibles de los imanes). Conscientes de este problema, se han publicado numerosos trabajos que dotan de mayor robustez al MTPA, por ejemplo considerando los efectos de la saturación en tiempo real. En cuanto a temperatura, algunos autores han propuesto la utilización de una familia de curvas MTPA, cada una correspondiente a una temperatura distinta. Otros trabajos estiman la temperatura de la máquina en tiempo real para corregir la trayectoria MTPA. Por último, no se conocen publicaciones que detallen cómo adaptar el MTPA o cualquier otra estrategia de control en el caso de desmagnetizaciones parciales de los imanes, si bien es cierto que esta situación es poco frecuente y bastante anómala.

El estado del arte también engloba soluciones técnicas que buscan combatir los dos inconvenientes mencionados en los párrafos anteriores, proponiendo soluciones radicalmente distintas al MTPA. Todos los procedimientos para optimizar la eficiencia energética de una máquina síncrona citadas hasta este punto emplean en mayor o menor medida modelos matemáticos de la máquina a controlar (por lo que son conocidos como “*model-based methods*” en la literatura científica). Sin embargo, existe otra familia de métodos cuyo enfoque es completamente distinto: aquellos que buscan el punto de funcionamiento óptimo de forma completamente empírica, en base a la información obtenida a partir de uno o varios sensores de medida (consecuentemente, se les denomina “*search-based methods*”). Existen numerosas publicaciones que proponen procedimientos de este tipo para máquinas de inducción y para máquinas síncronas. La mayoría de ellos emplean como variable a optimizar la potencia consumida/generada por la máquina, y como variable a perturbar la corriente Id. Este tipo de métodos no son exclusivos de la disciplina de las máquinas eléctricas; por ejemplo, en energía fotovoltaica se emplea el “seguimiento del punto de máxima potencia” (*maximum power point tracking*) para maximizar la energía generada, como se describe en las patentes “Photovoltaic maximum power point trackers (US9154032 B1, 2011) y “A maximum power point tracking method based on current increment for improving efficiency of the solar inverter” (KR101555274 B1, 2015).

Si bien es cierto que los métodos basados en búsquedas empíricas solucionan los dos inconvenientes del control MTPA y del resto de métodos basados en modelos (eficiencia energética no óptima y adaptabilidad limitada), lo hacen a consta de introducir otros inconvenientes que en general son mucho más significativos. El más relevante es la mala

5 dinámica durante los transitorios (de carga, de velocidad o de ambas cosas a la vez), que puede ser paliado parcialmente mediante la utilización de algoritmos de búsqueda más sofisticados, pero que nunca podrá ser eliminado completamente al ser inherente a la metodología de búsqueda empírica. Otro inconveniente es el hecho de que la máquina sufre transitorios continuamente (el control nunca deja de buscar el punto óptimo de operación, por lo que en régimen permanente oscila en torno a él), lo cual conlleva estrés para la máquina, vibraciones, ruido acústico y rizado de par. De nuevo, existen propuestas para reducir este inconveniente, pero no puede ser eliminado por completo. Por último, la precisión del método depende de la calidad de las medidas adquiridas, lo cual hace que sea sensible a éstas (al igual que la precisión de los métodos basados en modelos depende de la calidad de dichos modelos).

15 Por todo lo expuesto anteriormente, el estado del arte echa en falta un criterio alternativo a las soluciones conocidas que sea capaz de mejorar la dinámica durante transitorios y la eficiencia energética durante régimen permanente al mismo tiempo. Es decir, un método híbrido que emplee un control basado en modelos durante los transitorios y un control basado en búsqueda empírica durante el régimen permanente, de forma que se optimice la eficiencia energética global del accionamiento sin que por ello se empeore su respuesta dinámica ante transitorios.

20

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención resuelve los problemas mencionados anteriormente ofreciendo una estrategia de control diferente a las conocidas en el estado del arte, que opera de una forma dual: en régimen permanente, optimiza el consumo de corriente de un accionamiento eléctrico en tiempo real, persiguiendo el punto de funcionamiento de mínima corriente en base a la medida de la corriente consumida por el accionamiento, sin emplear parámetros ni modelos matemáticos de la máquina. Aunque minimizar la corriente consumida no implica necesariamente minimizar la potencia consumida – y por lo tanto no implica operar con la máxima eficiencia energética – en la práctica ambos puntos de funcionamiento están muy próximos entre sí, por lo que el error cometido es pequeño. Durante transitorios, la estrategia de control propuesta emplea preferentemente una trayectoria “MTPA” convencional para dotar a la máquina de una mejor respuesta dinámica, lo cual conlleva que el transitorio sea lo más corto posible. Una vez alcanzado el nuevo régimen permanente, la estrategia de control retoma la optimización del consumo de corriente.

15

Para ello se presenta, en un primer aspecto, un método para optimizar el consumo de corriente en régimen permanente de un accionamiento eléctrico que comprende una máquina eléctrica síncrona rotatoria controlada por un convertidor electrónico y una unidad de control que regula la velocidad y determina los valores de una o más variables de control vectorial, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

20

- a) recibir en la unidad de control un valor de referencia de velocidad y mantener girando la máquina a una velocidad igual a dicho valor de referencia;
- b) realizar una medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente;
- 25 c) modificar al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado y en un cierto sentido;
- d) adaptar, por el control de velocidad, el resto de variables de control vectorial para mantener la velocidad igual al valor de referencia;
- e) realizar una nueva medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente, de acuerdo a las variables de control modificadas;
- 30 f) comparar las dos últimas medidas de corriente realizadas;
- g) en caso de que la última medida de corriente sea menor que la anterior, modificar la, al menos una, variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado y en el mismo sentido que en el paso c);

35

- h) en caso de que la nueva medida de corriente sea mayor que la anterior, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado, pero en el sentido opuesto al paso c);
- i) volver al paso e).

5

De acuerdo a una de las realizaciones preferidas de la invención, la primera modificación de al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado, se realiza aplicando un decremento a la al menos una variable de control.

10 Las modificaciones de la al menos una variable de control se realizan preferentemente cada cierto período de tiempo T.

La variable de control se escoge preferentemente entre la componente directa y la componente en cuadratura de la corriente consumida por el accionamiento eléctrico.

15

De acuerdo a una de las realizaciones de la invención, la adaptación, por el control de velocidad, del resto de variables para mantener la velocidad igual al valor de referencia, comprende asignar parejas de valores a ambas componentes de la corriente que mantienen un valor de par constante.

20

Alternativamente, puede emplearse la corriente (10) consumida por la máquina eléctrica en lugar de la corriente (11) consumida por el accionamiento completo (véase la Figura 1). Esta opción resulta menos eficiente energéticamente, pero puede suponer ventajas de tipo práctico.

25

Adicionalmente, la presente invención contempla, en una de sus realizaciones particulares, suprimir en un cierto instante el valor de referencia de velocidad recibido y en consecuencia, seleccionar en la unidad de control una estrategia de control "MTPA" basada en proporcionar un valor requerido de par con la menor corriente posible, pero sin realizar
30 ninguna optimización en tiempo real de la corriente o de la potencia consumidas. Esta funcionalidad permite que el accionamiento se enfrente a transitorios de carga y/o de velocidad mediante la estrategia de control "MTPA", cuya respuesta dinámica es mejor que la de la estrategia de control de mínima corriente.

De acuerdo a una de las realizaciones de la presente invención, el procedimiento de optimización de la corriente consumida por el accionamiento eléctrico, comprende los pasos de:

- 5 1) sea el accionamiento eléctrico (1) con una máquina síncrona (2) controlada mediante un convertidor electrónico (3), estando la máquina girando a velocidad constante (8) y estando esta velocidad controlada por un regulador de velocidad (20) implementado en una unidad de control (6) de forma que sea igual a una velocidad de consigna (7);
- 10
- 2) se mide la corriente (11) que consume el accionamiento (1) en régimen permanente;
- 3) se modifica (se perturba) una de las dos corrientes, I_d (9) ó I_q (9') (o equivalentemente, el ángulo del vector espacial corriente), en un sentido arbitrario
- 15 (positivo o negativo) y en una cierta cantidad (medida en Amperios, en tanto por ciento, o en grados en el caso del ángulo), tal y como ilustra la Figura 2. Como consecuencia de dicha perturbación, el accionamiento efectúa un pequeño transitorio, actuando el regulador de velocidad (20) para que la velocidad (8) vuelva a ser igual a la de referencia (7);
- 20
- 4) se mide la corriente (11) que consume el accionamiento (1) en este nuevo régimen permanente, caracterizado por un punto de funcionamiento igual al anterior en términos de par y velocidad pero distinto en términos de [I_d , I_q];
- 25
- 5) se comparan los dos valores de corriente (11) anteriores, el nuevo del paso 4 y el antiguo del paso 2. Si la nueva corriente es menor que la antigua, entonces se perturba la referencia de corriente del punto 3 en el mismo sentido. En caso contrario, la perturbación será en sentido opuesto. Como consecuencia de dicha perturbación, el accionamiento efectuará un pequeño transitorio, actuando el
- 30 regulador de velocidad (20) para que la velocidad (8) vuelva a ser igual a la de referencia (7);
- 6) se mide la corriente (11) que consume el accionamiento (1) en este nuevo régimen permanente, caracterizado por un punto de funcionamiento igual al anterior en
- 35 términos de par y velocidad pero distinto en términos de [I_d , I_q]. El valor de corriente anterior pasa a ser el valor antiguo;

7) se comparan los dos últimos valores de corriente. Si la nueva corriente es menor que la antigua, entonces se perturba la referencia de corriente del paso 3 en el mismo sentido que la perturbación anterior. En caso contrario, la perturbación será en sentido opuesto. Como consecuencia de dicha perturbación, el accionamiento
5 efectuará un pequeño transitorio, actuando el regulador de velocidad (20) para que la velocidad (8) vuelva a ser igual a la de referencia (7);

8) se repiten los pasos 6 y 7 indefinidamente, siempre y cuando se pretenda mantener una velocidad constante fijada por el valor de referencia. En caso de que se opte por
10 una velocidad variable y el valor de referencia deje de ser constante, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención se opta por seleccionar una estrategia diferente, en concreto la MTPA.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema (1) para optimizar la eficiencia
15 de un accionamiento eléctrico en régimen permanente. Dicho sistema comprende:

- una máquina eléctrica síncrona rotatoria (2);
- un convertidor (3) electrónico de potencia, conectado a una fuente de energía (5) que alimenta la máquina síncrona rotatoria;
- una unidad de control (6) configurada para:
20
 - recibir un valor de referencia de velocidad (7);
 - mantener girando la máquina a una velocidad (8) igual a dicho valor de referencia;
 - realizar una medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente;
 - 25 - modificar al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado y en un cierto sentido;
 - adaptar el resto de variables de control vectorial para mantener la velocidad igual al valor de referencia;
 - realizar una nueva medida de la corriente que consume el accionamiento
30 eléctrico en régimen permanente, de acuerdo a las variables de control vectorial modificadas;
 - comparar las dos últimas medidas de corriente realizadas;
 - en caso de que la última medida de corriente sea menor que la anterior, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor
35 determinado y en el mismo sentido que la última modificación;

- en caso de que la nueva medida de corriente sea mayor que la anterior, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado, pero en el sentido opuesto al de la última modificación.

5 La máquina eléctrica síncrona rotatoria, de acuerdo a diferentes realizaciones de la invención, se implementa como una máquina síncrona de imanes permanentes, una máquina síncrona de reluctancia o una máquina híbrida combinación de los dos tipos anteriores.

10 Adicionalmente, la unidad de control contempla incorporar, en una de las realizaciones de la invención, un selector de modo configurado para seleccionar, en caso de que el valor de referencia de velocidad sea suprimido o modificado, una estrategia de control "MPTA". Una de las realizaciones comprende que la unidad de control esté configurada para detectar un régimen transitorio de funcionamiento, lo que resulta en un control basado en proporcionar
15 un valor requerido de par con la menor corriente posible, pero sin realizar optimización en tiempo real de la corriente, hasta que la unidad de control detecta nuevamente un régimen de funcionamiento permanente y se establece de nuevo un valor de referencia.

De forma opcional, la unidad de control puede incluir un regulador de velocidad de tipo controlador automático proporcional-integral (PI).
20

Una realización preferente de la invención, contempla que medir la corriente que consume el accionamiento eléctrico se realice tomando una medida del consumo instantáneo de corriente (11) del accionamiento eléctrico.
25

Alternativamente, una de las realizaciones, contempla que medir la corriente que consume el accionamiento eléctrico se realice tomando una medida del consumo instantáneo de corriente (10) de la máquina eléctrica síncrona. Esta realización alternativa es menos eficiente, pero es totalmente funcional y apropiada en determinadas ocasiones.
30

Algunas ventajas de la estrategia propuesta por la presente invención, frente a las estrategias conocidas (MTPA y similares), son una mayor eficiencia energética y una mayor robustez ante variación de parámetros, especialmente el envejecimiento de la máquina (entendiendo por tal una desmagnetización irreversible de los imanes, por ejemplo) y la temperatura (y sus consecuencias sobre el flujo de los imanes, la característica magnética de las chapas y las dilataciones térmicas). Las ventajas frente a otras alternativas conocidas
35

en el estado del arte son también la ausencia de parámetros y/o tablas de búsqueda (“*look-up tables*”), así como el bajo coste computacional de la presente invención. Por último, sus ventajas frente a otros algoritmos de búsqueda empírica son su mejor dinámica durante transitorios (ya que durante éstos emplea un control MTPA) y su fiabilidad y facilidad de implementación (al ser la medida de corriente más sencilla que la de potencia).

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de figuras en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- representa la topología de potencia más común en accionamientos eléctricos con máquina síncrona.

Figura 2.- muestra, a modo de ejemplo, un esquema de la estrategia de control propuesta.

Figura 3.- muestra la diferencia entre la trayectoria MTPA y la trayectoria de mínima corriente, ambas representadas en el plano I_d - I_q , para una máquina síncrona de imanes que funciona en modo motor.

Figura 4.- complementaria a la figura 3, muestra, a modo de ejemplo, un punto de funcionamiento concreto, definido por un valor de par concreto, que la máquina debe proporcionar de forma constante.

Figura 5.- ilustra el principio de funcionamiento del procedimiento de control propuesto, y su diferencia con la trayectoria MTPA convencional.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Lo definido en esta descripción detallada se proporciona para ayudar a una comprensión exhaustiva de la invención. En consecuencia, las personas medianamente expertas en la técnica reconocerán que son posibles variaciones, cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en la presente memoria sin apartarse del ámbito de la invención. Además, la descripción de funciones y elementos bien conocidos en el estado del arte se omite por claridad y concisión.

Por supuesto, las realizaciones de la invención pueden ser implementadas en una amplia variedad de plataformas arquitectónicas, protocolos, dispositivos y sistemas, por lo que los diseños e implementaciones específicas presentadas en este documento, se proporcionan únicamente con fines de ilustración y comprensión, y nunca para limitar aspectos de la

invención.

La presente invención define un procedimiento de control aplicable a máquinas síncronas de imanes permanentes, a máquinas síncronas de reluctancia, y a cualquier tipo de máquina híbrida entre las dos anteriores, que se basa en determinar las corrientes en eje directo (I_d) y en eje en cuadratura (I_q), de forma que se optimice el consumo de corriente (11) del accionamiento en su conjunto. Es decir, que la estrategia de control propuesta no busca optimizar la eficiencia de la máquina eléctrica (2) exclusivamente, sino del conjunto formado por la máquina (2), el convertidor (3) que la alimenta, y cualquier otro convertidor electrónico de potencia (5) que pueda haber antes de dicho convertidor, como por ejemplo un DC/DC (Figura 1). Aunque minimizar corriente no equivale estrictamente a optimizar eficiencia energética, en la práctica ambos métodos funcionan de manera muy similar, especialmente si se considera que la tensión de la etapa de continua a la que se conecta el convertidor es constante.

Esta optimización de la eficiencia energética se efectúa minimizando la corriente (11) consumida por el accionamiento, al mismo tiempo que se garantiza que la máquina proporciona el par necesario, a la velocidad requerida (7), en cada instante. El procedimiento está basado en el método "perturbación y observación" empleado para la maximización de la potencia generada en sistemas fotovoltaicos, comúnmente conocido como MPPT ("*Maximum Power Point Tracking*"). Es decir, que se trata de un procedimiento puramente empírico, ya que la optimización de las pérdidas se efectúa en tiempo real en base a una medida de corriente (11) consumida por el accionamiento. Por ser una estrategia de control que minimiza corriente mediante esta técnica de "perturbación y observación", y por analogía con el sector de la energía fotovoltaica, al procedimiento propuesto por la presente invención se hará referencia a lo largo del presente documento mediante las siglas de la traducción al inglés del término "seguimiento del punto de mínima corriente", es decir "*MCPT*" ("*Minimum Current Point Tracking*").

El MCPT (18') propuesto por la presente invención cumple siempre dos objetivos principales, que en orden de prioridad son:

- 1) Mantener la velocidad del accionamiento (8) constante e igual a su valor de consigna (7).
- 2) Minimizar la corriente (11) consumida por el accionamiento.

Primero, el MCPT (18') está concebido solamente para situaciones de régimen permanente, en las que tanto la velocidad (8) como la carga se mantienen constantes. Por lo tanto, el MCPT no es apropiado para una estrategia de control única, sino un complemento a la estrategia de control para transitorios de velocidad – por ejemplo el MTPA (13), tal y como se ha introducido anteriormente en los antecedentes –. Es decir, el MCPT es responsable de operar el accionamiento mientras la velocidad (7) es constante; en el instante en el que ésta varía (en el momento en que el error de velocidad supera una cierta tolerancia), se considera que tiene lugar un proceso transitorio y consecuentemente el MCPT (18) da paso al MTPA (13), para permanecer a la espera de que la velocidad vuelva a ser constante. Es importante resaltar que en muchos accionamientos eléctricos la velocidad es constante la mayor parte del tiempo, siendo los transitorios bastante esporádicos, por lo que la optimización de la eficiencia energética durante el régimen permanente es la más relevante a la hora de reducir el consumo energético global.

El segundo objetivo consiste en la optimización de la eficiencia energética, efectuado en la práctica mediante la minimización de la corriente consumida. El MCPT (18) se aplica siempre que sea posible, puesto que es una estrategia de control más eficiente que el MTPA (13) por los motivos siguientes:

1) El MTPA (13) minimiza la corriente (10) consumida por la máquina, y por lo tanto optimiza todas aquellas pérdidas que son minimizadas al minimizar esta corriente. Sin embargo, no optimiza las pérdidas en el hierro ni las pérdidas en los imanes de la máquina, por lo que la MTPA no es la trayectoria óptima desde el punto de vista de la eficiencia energética, si bien es cierto que en la práctica la MTPA está muy cerca de dicha trayectoria óptima, que denominaremos “*trayectoria de máxima eficiencia*” (14) de aquí en adelante (Figuras 3 y 4). Por el contrario, el MCPT (18) propuesto por la presente invención optimiza el 100% de las pérdidas (suponiendo que la tensión de la etapa de continua (4) es constante), salvo cuando se minimiza la corriente (10) consumida por la máquina en lugar de la corriente (11) consumida por todo el accionamiento.

2) El MTPA (13) no tiene capacidad de adaptación a condiciones de funcionamiento no previstas. Cualquier variación en los parámetros de la máquina que afecten a la curva MTPA no será tomada en cuenta por el sistema de control (salvo que se haya implementado una estrategia de control avanzada capaz de corregir esta desviación), lo cual empeorará la optimización realizada por el MTPA. Ejemplos de

5 perturbaciones no previstas habitualmente, y que conllevan una alteración de dichos parámetros, son variaciones de temperatura y desmagnetizaciones parciales irreversibles de los imanes. Por el contrario, el MCPT (18) propuesto por la presente invención es un método adaptativo por definición, puesto que la búsqueda del punto de mínimas pérdidas se hace de forma empírica en base a una medida de corriente (11) consumida por el accionamiento.

10 Las variables de salida del método MCPT (18) son las mismas que las del MTPA (13): las consignas de las corrientes I_d (9) e I_q (9') (véase la Figura 2). La diferencia está en cómo se calculan dichas consignas. La estrategia MTPA lo hace a partir de una o varias curvas predefinidas y preprogramadas en el sistema de control, de forma que a cada valor de I_d (9) le corresponde un único valor de I_q (9'), y viceversa. El MCPT propuesto consiste en perturbar una de estas variables con un pequeño incremento, y observar si en régimen permanente la corriente consumida (11) tras dicho incremento es mayor o menor que la original. Es decir, se busca de forma empírica y en tiempo real el punto de funcionamiento [I_d , I_q] que implica un menor consumo de corriente, garantizando siempre que el par proporcionado es el necesario para mantener la velocidad (8) constante e igual a su valor de consigna (7).

20 En resumen, el MTPA (13) utiliza un punto de funcionamiento (16) que, aunque es un punto de funcionamiento de alta eficiencia energética, no es un punto óptimo, independientemente de si está predefinido o si se ha estimado en tiempo real. Sin embargo, el MCPT (18) busca de forma empírica y en tiempo real dicho punto óptimo (17) – minimizar corriente equivale a minimizar potencia si la tensión es constante – reduciendo así la potencia consumida en régimen permanente por el accionamiento en su conjunto. El MCPT no alcanza el punto de funcionamiento óptimo en régimen permanente, sino que oscila en torno a dicho punto óptimo.

30 En la **figura 1** se representa la topología de potencia más común en accionamientos eléctricos con máquina síncrona, siendo:

1. el accionamiento.
2. Una máquina eléctrica síncrona de imanes permanentes, una máquina eléctrica síncrona de reluctancia o una máquina híbrida entre las dos anteriores.
3. Un convertidor electrónico de potencia que alimenta a dicha máquina.
- 35 4. Una etapa de continua de la cual se alimenta el convertidor anterior, y cuya tensión se supone constante (o al menos, de variación lenta).

5. Una fuente bidireccional de potencia en corriente continua (como por ejemplo una batería, un convertidor DC/DC, un rectificador...), que es el elemento que proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del accionamiento.
 6. Una unidad de control.
 - 5 7. La referencia o consigna de velocidad.
 8. La velocidad.
 10. La corriente consumida por la máquina eléctrica.
 11. La corriente consumida por el accionamiento en su conjunto.
- 10 La **figura 2** muestra, a modo de ejemplo, un esquema de la estrategia de control MCPT propuesta por la presente invención, siendo:
6. una unidad de control.
 7. La referencia o consigna de velocidad.
 8. La velocidad.
 - 15 9. La corriente I_d .
 - 9'. La corriente I_q .
 11. La medida de la corriente eléctrica instantánea consumida por el accionamiento en su conjunto.
 - 13'. El bloque que implementa la trayectoria MTPA.
 - 20 18'. El bloque que implementa el método MCPT propuesto.
 20. Un regulador PI (o cualquier otro bloque de control análogo).
 21. Un selector de modo.

La **figura 3** muestra la diferencia entre una trayectoria MTPA de acuerdo a una de las soluciones conocidas en el estado del arte y la trayectoria de máxima eficiencia, ambas representadas en el plano I_d - I_q , para una máquina síncrona de imanes que funciona en modo motor, siendo:

12. una circunferencia de radio igual a la corriente asignada de la máquina, que representa el límite de funcionamiento por corriente de la misma. Todos los puntos que están fuera de dicha circunferencia son puntos de corriente (10) superior a la asignada, y por lo tanto puntos de funcionamiento no admisibles en régimen permanente.
13. La trayectoria MTPA, que es el lugar geométrico de todos los puntos de funcionamiento $[I_d, I_q]$ que minimizan la corriente (10) consumida por la máquina.
- 35 Esta trayectoria está contenida en el segundo cuadrante del plano I_d - I_q , parte desde el origen $[0, 0]$ y termina en un punto perteneciente a la circunferencia (12). El

accionamiento se situará en un punto de funcionamiento u otro dependiendo de la necesidad instantánea de par, siendo el punto de menos par el origen (par nulo) y el de par máximo el de la circunferencia (12).

- 5 14. La trayectoria de máxima eficiencia, que es el lugar geométrico de todos los puntos de funcionamiento $[I_d, I_q]$ que minimizan la potencia (11) consumida por la máquina. Esta trayectoria también parte desde el origen $[0, 0]$ y se sitúa siempre a la izquierda de la MTPA en este tipo de máquinas. El accionamiento se situará en un punto de funcionamiento u otro de la trayectoria de máxima eficiencia dependiendo de la necesidad instantánea de par, siendo el punto de menos par el origen (par nulo) y el
- 10 de más par el de la circunferencia (12).

La **figura 4**, complementaria a la figura 3, muestra, a modo de ejemplo, un punto de funcionamiento concreto, definido por un valor de par concreto, que la máquina debe proporcionar de forma constante, donde:

- 15 15. Curva "P vs I_d " que muestra la potencia consumida (11) para todos los puntos de funcionamiento $[I_d, I_q]$ que proporcionan el par requerido. La curva presenta un mínimo global (17), que es el punto de funcionamiento de mínima corriente consumida, y por lo tanto el punto de máxima eficiencia energética (suponiendo tensión constante).
- 20 16. Punto de funcionamiento según la trayectoria MTPA, que es la que minimiza la corriente (10) consumida por la máquina eléctrica.
17. Punto de funcionamiento según la trayectoria ME, que es la que minimiza la corriente (11) consumida por el accionamiento.

25 La **figura 5** ilustra el principio de funcionamiento del procedimiento de control MCPT propuesto (18), y su diferencia con la trayectoria MTPA convencional (13), donde:

18. En régimen permanente, el MCPT opera la máquina en tres puntos, el de máxima eficiencia (17) y los dos aledaños. Como muestra la figura, el MCPT opera la máquina con menos consumo de potencia (18) que el control MTPA (16).

30

A la vista de las figuras divulgadas anteriormente, se describe a continuación una realización particular de la presente invención:

- 35 1) Se parte de una situación inicial en la que un accionamiento con una máquina síncrona de imanes permanentes (2) está funcionando con control de velocidad y siguiendo la trayectoria MTPA (13). La consigna de velocidad (7) es constante (y va

a seguir siéndolo) y el accionamiento está en régimen permanente. Un regulador de velocidad (20) es el responsable de calcular la consigna de I_q (9') en cada ciclo de programa del sistema de control digital, mientras que una "Look-Up Table" (13'), que contiene la información relativa a la curva MTPA, genera la consigna de I_d (9) a partir de dicha I_q .

5

2) En un primer instante de tiempo, que se definirá en esta realización particular como $t=0$, se activa (manual o automáticamente) el MCPT (18') y el correspondiente selector de modo (21). El MCPT empieza a operar con la misma I_d (9) con la que estaba funcionando el MTPA (13') un instante antes, mientras que la I_q (9') sigue siendo la que dicta el regulador de velocidad (20). Es decir, que el MCPT todavía no ha actuado, pero sí ha empezado a recopilar información sobre la corriente consumida (11) en régimen permanente (correspondiente a una pareja [I_d , I_q] de valores perteneciente a la curva MTPA). Durante un intervalo de tiempo T , se capturan y almacenan los valores de corriente consumida por el accionamiento (1). Con estos valores se calcula un valor medio, denominado I_1 .

10

15

3) En un segundo instante de tiempo $t=T$, el MCPT (18') actúa por primera vez. Como el algoritmo aún no dispone de información para comparar dos puntos de funcionamiento, su primera decisión será arbitraria, en el sentido de que la dirección del incremento de la consigna de I_d (9) (denotado ΔI_d) se elegirá arbitrariamente. Para una máquina síncrona de imanes, dado que la curva de máxima eficiencia (14) está siempre a la izquierda de la curva MTPA (13) en el plano dq , este primer incremento de I_d se realiza preferentemente en sentido negativo ($\Delta I_{d1} < 0$, hacia la izquierda en el plano dq de la Figura 3). Al modificar el valor de I_d (9), la máquina proporciona un par diferente en un primer instante, y la velocidad (8) empieza a cambiar. Se incrementa por tanto el error de velocidad visto por el regulador de velocidad (20), el cual reacciona en consecuencia corrigiendo o adaptando el valor de I_q (9') a la nueva situación, de forma que en el nuevo régimen permanente la máquina da el mismo par y la velocidad vuelva a ser igual a la de consigna (7), pero con una pareja diferente de valores [I_d , I_q], y consecuentemente con un consumo de corriente (11) diferente.

20

25

30

4) En un intervalo de tiempo entre $t=T$ y $t=T+T'$ (siendo $T > T'$), se detiene la captura de la medida de la corriente instantánea (11). Esto es para dar tiempo al accionamiento

35

a finalizar el breve transitorio que se origina como consecuencia del incremento/decremento provocado en I_d (9).

5) En un intervalo de tiempo entre $t=T+T'$ y $t=2T$ se vuelven a capturar los valores instantáneos de corriente consumida (11). Con estos valores se calcula un nuevo valor medio, I_2 , correspondiente al nuevo punto de funcionamiento.

6) En un tercer instante de tiempo $t=2T$, el MCPT (18') compara los dos últimos valores medios de corriente, I_1 e I_2 , y toma una decisión en función de la siguiente lógica:

10 a. Si $I_1 > I_2$, entonces el próximo incremento es en el mismo sentido que el incremento anterior. Es decir:

i. Si antes $\Delta I_{d1} > 0$, entonces el nuevo ΔI_{d2} también > 0 .

ii. Si antes $\Delta I_{d1} < 0$, entonces el nuevo ΔI_{d2} también < 0 .

15 b. Si $I_1 < I_2$, el nuevo punto de funcionamiento es menos eficiente energéticamente, por lo que es necesario cambiar el sentido del incremento:

i. Si antes $\Delta I_{d1} > 0$, entonces el nuevo $\Delta I_{d2} < 0$.

ii. Si antes $\Delta I_{d1} < 0$, entonces el nuevo $\Delta I_{d2} > 0$.

20 7) Los pasos 4, 5 y 6 se repiten indefinidamente, calculando progresivos valores medios de la corriente consumida (I_3, I_4, I_5, \dots) y decidiendo a partir de ellos el sentido de los correspondientes incrementos de la consigna de I_d ($\Delta I_{d3}, \Delta I_{d4}, \Delta I_{d5}, \dots$) hasta que el MCPT (18') se detenga (por ejemplo, por un cambio en la velocidad), instante en el que el accionamiento volverá a operar en régimen transitorio según el MTPA (13').

25 Nótese que, tal y como se ha comentado anteriormente, la presente invención no alcanza un punto de funcionamiento óptimo en régimen permanente, sino que oscila continuamente en torno a dicho punto óptimo, como ilustra la Figura 5.

30 La presente invención tiene aplicación en cualquier proceso industrial que incluya un accionamiento eléctrico de velocidad variable con al menos una máquina síncrona de imanes permanentes o una máquina síncrona de reluctancia.

35 De los muchos ejemplos de aplicación industrial que pueden citarse, se destaca el control de cruce de vehículos automóviles con tracción eléctrica. Muchos vehículos eléctricos actuales suelen emplear este tipo de motores síncronos y disponen de la opción de control

de crucero; esto es, de funcionamiento a velocidad constante (establecida bien por el conductor o bien por el sistema de control, en el caso de vehículos no tripulados). El procedimiento descrito permitiría hacer funcionar al vehículo con el menor consumo de energía posible durante los tramos de velocidad constante, lo que además redundaría en una mayor autonomía en caso de que el vehículo fuera alimentado de forma autónoma (por baterías, pila de combustible o cualquier otro sistema de almacenamiento de energía).

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para optimizar la eficiencia de un accionamiento eléctrico que comprende una máquina eléctrica síncrona rotatoria controlada por un convertidor electrónico y una unidad de control que regula la velocidad y determina los valores de una o más variables de control vectorial, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:
- a) recibir, en la unidad de control, un valor de referencia de velocidad y mantener girando la máquina a una velocidad igual a dicho valor de referencia;
 - b) realizar una medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente;
 - c) modificar al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado y en un cierto sentido;
 - d) adaptar, por el control de velocidad, el resto de variables de control vectorial para mantener la velocidad igual al valor de referencia;
 - e) realizar una nueva medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente, de acuerdo a las variables de control vectorial modificadas;
 - f) comparar las dos últimas medidas de corriente realizadas;
 - g) en caso de que la última medida de corriente sea menor que la anterior medida de corriente, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado y en el mismo sentido que en el paso c);
 - h) en caso de que la nueva medida de corriente sea mayor que la anterior medida de corriente, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado, pero en el sentido opuesto al paso c);
 - i) volver al paso e).
- 2.- Método de acuerdo a la reivindicación 1 donde modificar al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado y en un cierto sentido comprende un decremento de la al menos una variable de control.
- 3.- Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde las modificaciones de la al menos una variable de control se realizan cada cierto período de tiempo T.
- 4.- Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la variable de control se escoge entre la componente directa y la componente en cuadratura de la corriente consumida por el accionamiento eléctrico.

5.- Método de acuerdo a la reivindicación 4 donde la adaptación, por el control de velocidad, del resto de variables para mantener la velocidad igual al valor de referencia, comprende asignar parejas de valores a ambas componentes de la corriente que mantienen un valor de par constante.

5

6.- Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico consiste en medir el consumo instantáneo de corriente del accionamiento eléctrico.

10 **7.-** Método de acuerdo a cualquier de las reivindicaciones 1-5, donde la medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico consiste en medir el consumo instantáneo de corriente de la máquina eléctrica síncrona.

15 **8.-** Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende detectar un régimen transitorio de funcionamiento y, en consecuencia, seleccionar en la unidad de control una estrategia de control "MPTA" basada en proporcionar un valor requerido de par con la menor corriente posible, pero sin realizar optimización en tiempo real de la corriente.

20 **9-** Sistema (1) para optimizar la eficiencia de un accionamiento eléctrico caracterizado porque comprende:

- una máquina eléctrica síncrona rotatoria (2);
- un convertidor (3) electrónico de potencia, conectado a una fuente de energía (5) que alimenta la máquina síncrona rotatoria;
- 25 - una unidad de control (6) configurada para:
 - recibir un valor de referencia de velocidad (7);
 - mantener girando la máquina eléctrica síncrona rotatoria a una velocidad (8) igual a dicho valor de referencia;
 - realizar una medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico
 - 30 en régimen permanente;
 - modificar al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado y en un cierto sentido;
 - adaptar el resto de variables de control vectorial para mantener la velocidad igual al valor de referencia;

- realizar una nueva medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente, de acuerdo a las variables de control vectorial modificadas;
 - comparar las dos últimas medidas de corriente realizadas;
 - 5 - en caso de que la última medida de corriente sea menor que la anterior medida de corriente, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado y en el mismo sentido que la última modificación;
 - en caso de que la nueva medida sea mayor que la anterior medida de corriente, modificar la al menos una variable de control vectorial de acuerdo al valor determinado, pero en el sentido opuesto a la última modificación.
- 10

10.- Sistema de acuerdo a la reivindicación 9 donde la máquina síncrona rotatoria se escoge entre una máquina síncrona de imanes permanentes, una máquina síncrona de reluctancia y una máquina híbrida combinación de las dos anteriores.

15

11.- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 9-10 donde la unidad de control además comprende un selector de modo configurado para seleccionar, en caso de detectar un régimen de funcionamiento transitorio, una estrategia de control "MTPA" basada en proporcionar un valor requerido de par con la menor corriente posible, pero sin realizar optimización en tiempo real de la corriente..

20

12.- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 9-11 donde la unidad de control además comprende un regulador de velocidad de tipo controlador automático PI.

25

13.- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 9-12, donde la unidad de control está configurada para medir la corriente que consume el accionamiento eléctrico como el consumo instantáneo de corriente (11) del accionamiento eléctrico.

14.- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 9-12, donde la unidad de control está además configurada para medir la corriente que consume el accionamiento eléctrico como el consumo instantáneo de corriente (10) de la máquina eléctrica síncrona.

30

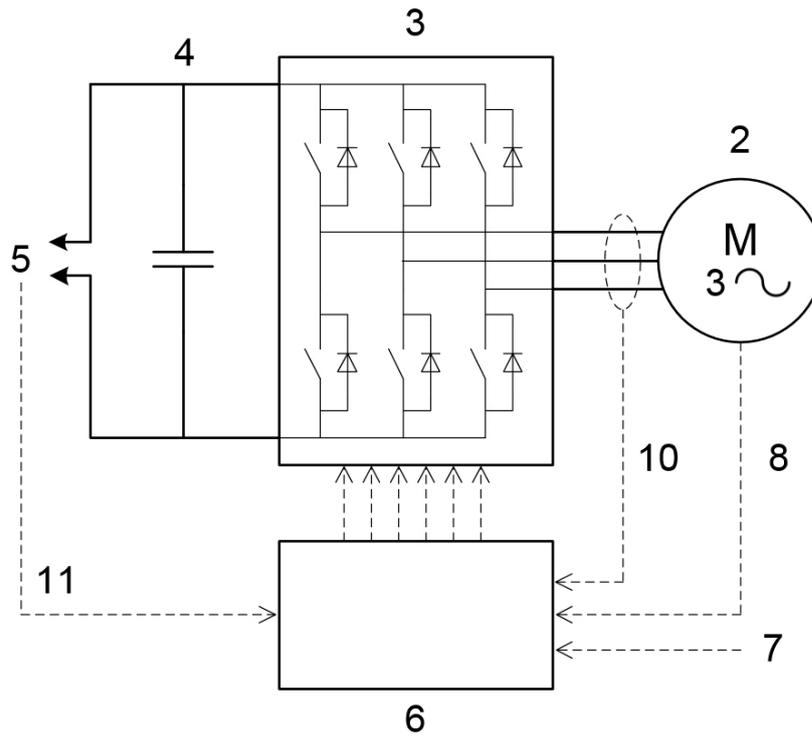


Figura 1

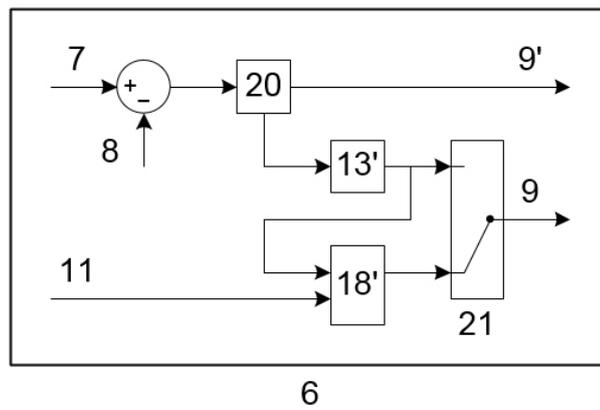


Figura 2

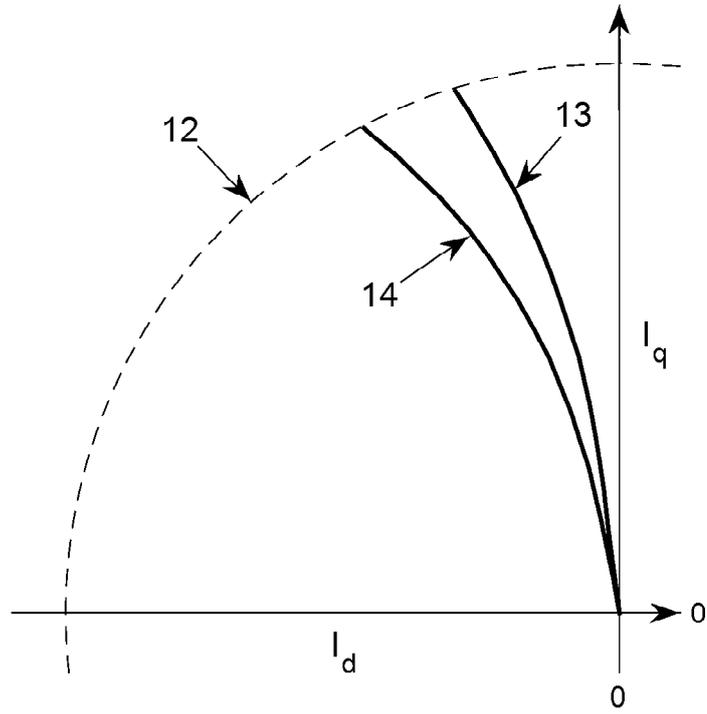


Figura 3

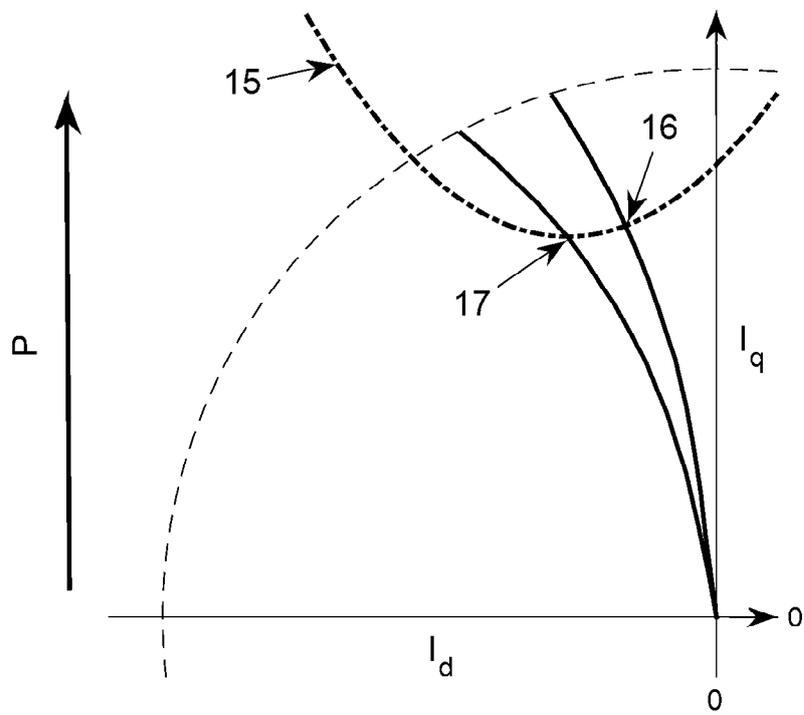


Figura 4

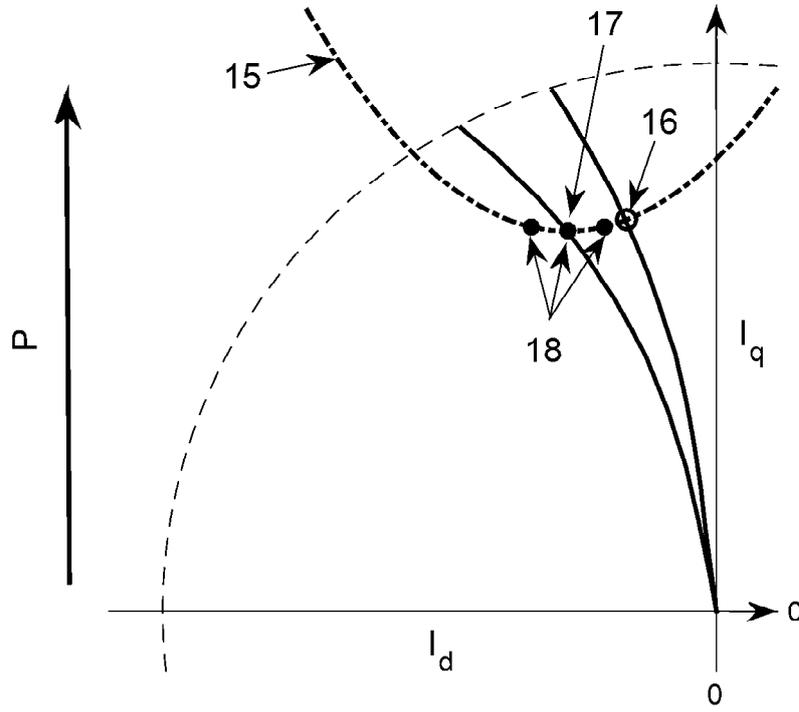


Figura 5



- ②① N.º solicitud: 201630198
②② Fecha de presentación de la solicitud: 22.02.2016
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H02P21/14** (2016.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X A	VAEZ S et al. "AN ON-LINE LOSS MINIMIZATION CONTROLLER FOR INTERIOR PERMANENT MAGNET MOTOR DRIVES" IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, 19991201 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US 01/12/1999 VOL: 14 No: 4 Paginas: 1435 - 1440 ISSN 0885-8969 Doi: doi:10.1109/60.815086	1-7, 9,10,12-14 8, 11
X A	ELEFThERIA S SERGAKI et al. "Online search based fuzzy optimum efficiency operation in steady and transient states for DC and AC vector controlled motors" Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18 th International Conference on, 20080906 IEEE, Piscataway, NJ, USA 06/09/2008 VOL: Paginas: 1 - 7 ISBN 978-1-4244-1735-3 ; ISBN 1-4244-1735-X	9-11 1-8
A	SILVERIO BOLOGNANI et al. "Online MTPA Control Strategy for DTC Synchronous-Reluctance-Motor Drives" IEEE Transactions on Power Electronics, 20110101 Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA 01/01/2011 VOL: 26 No: 1 Paginas: 20 - 28 ISSN 0885-8993 Doi:10.1109/TPEL.2010.2050493	1-11
A	Toosi et al. "Increase Performance of IPMSM by Combination of Maximum Torque per Ampere and Flux-Weakening Methods" ISRN Power Engineering Volume 2013 (2013), Article ID 187686, 10 pages http://dx.doi.org/10.1155/2013/187686	1-11

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
03.10.2016

Examinador
M. d. López Sábater

Página
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H02P

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, NPL, IEEE, Elsevier, Internet

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 03.10.2016

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-8, 10, 12-14	SI
	Reivindicaciones 9, 11	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 8	SI
	Reivindicaciones 1-7, 9-11	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	VAEZ S et al. AN ON-LINE LOSS MINIMIZATION CONTROLLER FOR INTERIOR PERMANENT MAGNET MOTOR DRIVES.IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, 19991201 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US 01/12/1999 VOL: 14 No: 4 Paginas: 1435 - 1440 ISSN 0885-8969 doi:10.1109/60.815086	01.12.1999
D02	ELEFThERIA S SERGAKI et al. Online search based fuzzy optimum efficiency operation in steady and transient states for DC and AC vector controlled motors.Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on, 20080906 IEEE, Piscataway, NJ, USA 06/09/2008 VOL: Paginas: 1 – 7 ISBN 978-1-4244-1735-3 ; ISBN 1-4244-1735-X	06.09.2008

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Reivindicación 1:

En el documento D01, que se ha considerado el más cercano a esta reivindicación, se explica un método para optimizar la eficiencia de un accionamiento eléctrico que comprende una máquina eléctrica síncrona rotatoria controlada por un convertidor electrónico y una unidad de control que regula la velocidad y determina los valores de una o más variables de control vectorial. Este método comprende los pasos de establecer un valor de referencia de la velocidad y mantener a la máquina girando a una velocidad lo más cercana posible a dicho valor de referencia, medir la potencia que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente, modificar al menos una de las variables de control vectorial de acuerdo a un valor determinado y en un cierto sentido y adaptar, por medio del control de velocidad, el resto de variables de control vectorial para mantener la velocidad igual al valor de referencia (página 1439 de D01, desde "...throughout the operation of the ALMC..." hasta "...unchanged in spite of changes in i_d ..."). El método prosigue realizando una nueva medida de la corriente que consume el accionamiento eléctrico en régimen permanente, de acuerdo a las variables de control vectorial modificadas, y realizando los cálculos de otras variables involucradas en el método de control.

A partir de este paso, el método descrito por D01 únicamente difiere del que se desea proteger en esta primera reivindicación independiente en que, donde en la reivindicación se comparan las dos últimas medidas de corriente realizadas, en D01 se comparan los dos últimos valores de la potencia consumida. Posteriormente, dependiendo de que la potencia consumida se haya incrementado o se haya reducido, en el método de D01 se propugna que la modificación de la variable de control cambie o no de sentido en perturbaciones posteriores, buscando el punto de mínimo consumo de potencia, mientras que en la reivindicación estudiada se actúa de idéntica manera, si bien lo que se busca es el punto de mínimo consumo de corriente.

Escoger minimizar el consumo de corriente en vez del consumo de potencia no parece sino una elección por parte de los solicitantes. A consecuencia de esta elección, el punto de funcionamiento de la máquina será distinto en cada momento al que habría tenido de haber seguido un método de minimización del consumo de potencia, pero en ambos casos la máquina persigue dinámicamente un punto de funcionamiento por medio de la inyección de perturbaciones y el estudio de la variable a minimizar manteniendo la velocidad constante.

A la vista de lo anterior, se puede decir que esta primera reivindicación carece de actividad inventiva según el artículo 8 de la Ley de Patentes 11/86.

Reivindicaciones 2 a 7:

Estas reivindicaciones dependientes tampoco conllevan actividad inventiva por las mismas razones que se argumentaron para la primera reivindicación.

Reivindicación 8:

En la reivindicación objeto de este estudio se desea proteger el cambio de un sistema de control que mantiene la corriente en un valor mínimo a otro sistema de control que proporciona el máximo par por amperio, en caso de que se detecte un transitorio. El cambio de uno a otro requiere la implementación de un sistema de detección y de cambio que se ha ilustrado en la figura 2 del documento base y se ha descrito en el párrafo 7, página 19 del mismo.

El cambio de modo de control cuando una máquina pasa de estar en régimen permanente a transitorio es algo conocido en el estado de la técnica anterior como puede leerse en D02. Sin embargo, los modos de control que se alternan en este documento no son los mismos que en el documento base, por lo que no puede asumirse que el proceso de cambio en D02 sea equivalente al que se desea proteger que, por lo tanto, se considera nuevo e inventivo.

Reivindicación 9: :

En el estado de la técnica es usual encontrar sistemas que comprenden una máquina eléctrica síncrona rotatoria, un convertidor electrónico de potencia conectado a una fuente de energía que alimenta la máquina síncrona rotatoria y una unidad de control configurada para llevar a cabo el control de la máquina. Tanto en D01 como en D02 se encuentran recogidos todos estos elementos, por lo que esta reivindicación independiente no se considera nueva según el artículo 6 de la Ley de Patentes 11/86.

Reivindicaciones 10 y 12 a 14:

Se considera que estas reivindicaciones dependientes carecen de actividad inventiva porque no contienen características adicionales que, en combinación con las características de ninguna de las reivindicaciones de las que dependen cumplan los requerimientos del artículo 8 de la Ley de Patentes 11/86, dado que solo especifican el uso medios técnicos habitualmente empleados en el estado de la técnica.

Reivindicación 11:

Dado que el funcionamiento esperado de un sistema no es una característica descriptiva del mismo, solamente interesa, a fin de evaluar la novedad y la actividad inventiva de esta reivindicación dependiente, el hecho de que el sistema cuenta con un selector apto para cambiar entre dos modos de control. Un controlador de este tipo es el descrito por D02. Por lo tanto, esta reivindicación no se considera nueva.