

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 036**

51 Int. Cl.:

H02P 5/74 (2006.01)

H02P 6/18 (2006.01)

H02P 6/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.01.2013 PCT/EP2013/050151**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.07.2013 WO13104582**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.01.2013 E 13700033 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 2803135**

54 Título: **Procedimiento de control implementado para controlar dos motores eléctricos síncronos de imán permanente conectados en paralelo**

30 Prioridad:

09.01.2012 FR 1250190

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

02.04.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MALRAIT, FRANÇOIS y
DEVOS, THOMAS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 752 036 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 implementado para controlar dos motores eléctricos síncronos de imán permanente conectados en paralelo

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control implementado en un convertidor de potencia para controlar dos motores síncronos de imán permanente conectados en paralelo a dicho convertidor de potencia.

La invención se refiere del mismo modo al convertidor de potencia que permite implementar este procedimiento.

Estado de la técnica

10 De manera conocida, un convertidor de potencia de tipo variador de velocidad está conectado aguas arriba a una red eléctrica y permite controlar un motor eléctrico. Un variador de velocidad comprende:

- a la entrada, un módulo rectificador compuesto por regla general de un puente de diodos destinado a rectificar la tensión alterna proporcionada por la red eléctrica,

15 - un bus continuo de alimentación sobre el que se aplica la tensión rectificada por el módulo rectificador, el bus continuo de alimentación que está dotado de un condensador de bus que permite mantener la tensión del bus en un valor constante,

- a la salida, un módulo inversor destinado a transformar la tensión del bus continua en una tensión variable a aplicar al motor eléctrico.

20 Para ciertas aplicaciones, la salida de un variador de velocidad puede conectarse a dos motores eléctricos distintos. El mismo variador de velocidad es por tanto empleado para controlar los dos motores eléctricos conectados en paralelo. Si los motores eléctricos son de tipo síncrono de imán permanente, el control en paralelo de los dos motores, por un mismo variador de velocidad, no se puede hacer más que después de una alineación de los rotores de los dos motores síncronos. Para efectuar esta alineación, es conocido conectar el variador de velocidad a un solo motor eléctrico síncrono al mismo tiempo. El variador de velocidad es conectado primero al primer motor eléctrico síncrono y aplica una tensión a este primer motor eléctrico para alinear su rotor a lo largo de un eje determinado.

25 Después el primer motor eléctrico síncrono es desconectado del variador de velocidad y el segundo motor eléctrico síncrono es conectado al variador de velocidad. El variador de velocidad es controlado para aplicar una tensión de alimentación de terminada en el segundo motor eléctrico síncrono con el fin de alinear su rotor a lo largo del mismo eje que el del primer motor eléctrico síncrono.

30 Este procedimiento de alineación es obligatorio de implementar ya que necesita la disposición de una secuencia de control precisa de conexión y de desconexión de cada motor eléctrico.

El documento JP2008206290 describe un procedimiento para controlar varios motores "brushless" (sin escobillas) conectados en paralelo.

El objetivo de la invención es proponer un procedimiento de control implementado en un variador de velocidad que permite evitar conectar de manera impedante cada motor eléctrico síncrono al variador de velocidad.

35 Descripción de la invención

Este objetivo se logra mediante un procedimiento de control implementado en un convertidor de potencia que comprende una salida conectada a dos motores eléctricos síncronos de imán permanente en paralelo, dicho convertidor de potencia que está controlado para aplicar una tensión de alimentación en su salida, cada motor eléctrico síncrono de imán permanente que comprende un estator y un rotor, el procedimiento de control que comprende:

40

- una etapa de aplicación de una señal de tensión de alta frecuencia, sin generar par, es decir sin ocasionar un desplazamiento de su rotor, en los motores eléctricos sincronizados de imán permanente, según al menos un eje en un sistema de referencia fijo, causando oscilaciones de la corriente en la salida del convertidor de potencia,

- una etapa de medida de las oscilaciones de corriente obtenidas en la salida del convertidor de potencia,

45 - una etapa de determinación para determinar el ángulo del rotor del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y el ángulo del rotor del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente a partir de las oscilaciones de la corriente medida.

Según una particularidad, la etapa de determinación del ángulo del rotor del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente se implementa teniendo en cuenta parámetros del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente.

50

Según otra particularidad, la etapa de determinación del ángulo del rotor del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente se implementa teniendo en cuenta parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente.

5 Según otra particularidad, el ángulo del rotor del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y el ángulo del rotor del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente se determinan a partir de las siguientes relaciones:

$$g = g_{mot1} + h_{mot1} \cdot e^{j2\theta_1} + g_{mot2} + h_{mot2} \cdot e^{j2\theta_2}$$

$$n = k_{mot1} \cdot e^{-j\theta_1} + l_{mot1} \cdot e^{j\theta_1} + m_{mot1} \cdot e^{j3\theta_1} + k_{mot2} \cdot e^{-j\theta_2}$$

$$+ l_{mot2} \cdot e^{j\theta_2} + m_{mot2} \cdot e^{j3\theta_2}$$

en las cuales:

$$g = \frac{\Omega \cdot \tilde{i}_s}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{i}_s}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_s^2}$$

10 - $g_{mot1}, h_{mot1}, k_{mot1}, l_{mot1}, m_{mot1}$ son constantes que son función de parámetros del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente,

- $g_{mot2}, h_{mot2}, k_{mot2}, l_{mot2}, m_{mot2}$ son constantes que son función de parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente,

- \tilde{i}_s representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el primer orden,

- $\tilde{\tilde{i}}_s$ representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el segundo orden,

15 - α representa el ángulo formado por el eje de la inyección en la referencia fija,

- Ω representa la frecuencia de la señal de tensión de alta frecuencia que es aplicada,

- \tilde{u} representa la amplitud de la inyección de la señal de tensión de alta frecuencia y

$$\tilde{u}_s = e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}$$

20 Según otra particularidad, el procedimiento comprende una etapa de alineación de los rotores según una estrategia determinada, memorizada en el convertidor de potencia.

Según otra particularidad, la etapa de alineación se implementa teniendo en cuenta la inercia del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y la inercia del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente.

25 La invención se refiere del mismo modo a un convertidor de potencia que comprende una salida destinada a ser conectada a dos motores eléctricos síncronos de imán permanente en paralelo, dicho convertidor de potencia que está controlado para aplicar una tensión de alimentación en su salida, cada motor eléctrico síncrono de imán permanente que comprende un estator y un rotor, el convertidor que comprende:

- medios de aplicación de una señal de tensión de alta frecuencia, sin generar par, es decir sin ocasionar el desplazamiento de su rotor, en los dos motores eléctricos síncronos de imán permanente, según al menos un eje en una referencia fija, que causa oscilaciones de la corriente en la salida del convertidor de potencia,

30 - medios de medida de las oscilaciones de corriente obtenidas en la salida del convertidor de potencia,

- medios de determinación activados para determinar el ángulo del rotor del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y el ángulo del rotor del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente a partir de las oscilaciones de la corriente medida.

Según una particularidad, los medios de determinación son activados para determinar el ángulo del rotor del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente teniendo en cuenta parámetros del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente.

5 Según otra particularidad, los medios de determinación son activados para determinar el ángulo del rotor del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente teniendo en cuenta los parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente.

Según otra particularidad, el ángulo del rotor del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y el ángulo de rotor del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente son determinados a partir de las siguientes relaciones:

$$g = g_{mot1} + h_{mot1} \cdot e^{j2\theta_1} + g_{mot2} + h_{mot2} \cdot e^{j2\theta_2}$$

$$10 \quad n = k_{mot1} \cdot e^{-j\theta_1} + l_{mot1} \cdot e^{j\theta_1} + m_{mot1} \cdot e^{j3\theta_1} + k_{mot2} \cdot e^{-j\theta_2} + l_{mot2} \cdot e^{j\theta_2} + m_{mot2} \cdot e^{j3\theta_2}$$

en las cuales:

$$g = \frac{\Omega \cdot \tilde{i}_s}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{i}_s}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_s^2}$$

- g_{mot1} , h_{mot1} , k_{mot1} , l_{mot1} , m_{mot1} son constantes que son función de parámetros del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente,

15 - g_{mot2} , h_{mot2} , k_{mot2} , l_{mot2} , m_{mot2} son constantes que son función de parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente,

- \tilde{i}_s representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el primer orden,

- \tilde{i}_s representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el segundo orden,

- α representa el ángulo formado por el eje de la inyección en la referencia fija,

20 - Ω representa la frecuencia de la señal de tensión de alta frecuencia que es aplicada,

- \tilde{u} representa la amplitud de la inyección de la señal de tensión de alta frecuencia y

$$\tilde{u}_s = e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}$$

Según otra particularidad, el convertidor comprende medios de alineación de los rotores según una estrategia determinada memorizada en el convertidor de potencia.

25 Según otra particularidad, los medios de alineación comprenden medios de determinación de una estrategia de alineación teniendo en cuenta la inercia del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y la inercia del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente.

Breve descripción de las figuras

30 Estas características y ventajas van a aparecer en la descripción detallada que sigue hecha con respecto a la figura 1 que muestra un convertidor de potencia de tipo variador de velocidad y dos motores eléctricos síncronos conectados en paralelo a dicho convertidor de potencia.

Descripción detallada de al menos un modo de realización

35 La invención se aplica a un convertidor de potencia que comprende al menos un módulo inversor alimentado por una fuente de tensión continua y que comprende una salida conectada en paralelo a dos motores Mot1, Mot2 eléctricos síncronos de imán permanente (PMSM para *Permanent Magnet Synchronous Motor*, cada uno de los cuales se denominará en lo sucesivo motor eléctrico síncrono).

La invención se aplica más particularmente aún convertidor de potencia de tipo variador de velocidad. De manera conocida, un convertidor de potencia de tipo variador de velocidad es conectado aguas arriba a una red R eléctrica y aguas abajo a al menos a un motor eléctrico.

Un variador de velocidad comprende:

5 - a la entrada, un módulo REC rectificador que comprende por regla general un puente de diodos destinado a rectificar la tensión alterna proporcionada por la red R eléctrica,

- un bus 10 continuo de alimentación en el que se aplica la tensión rectificada por el módulo rectificador, el bus continuo de alimentación que está dotado de un condensador Cbus de bus que permite mantener la tensión del bus en un valor constante,

10 - a la salida, un módulo NV inversor destinado a transformar la tensión del bus continua en una tensión variable a aplicar al motor eléctrico.

El módulo NV inversor es controlado empleando una ley de control determinada ejecutada por medios de control. La ley de control consiste en calcular las tensiones a aplicar al motor eléctrico en función de una consigna de velocidad del estator.

15 El procedimiento de control de la invención se implementa en un variador de velocidad para controlar los dos motores Mot1, Mot2 eléctricos síncronos que están conectados en paralelo a la salida del variador de velocidad.

Según la invención, para controlar dos motores Mot1, Mot2 eléctricos síncronos en paralelo y enviarles las mismas tensiones de control, es necesario alinear anteriormente los dos rotores R1, R2 de los dos motores. El procedimiento de control de la invención se emplea para permitir realizar esta alineación. Sin embargo, para alinear los dos rotores R1, R2, es necesario restringir su posición respectiva. El procedimiento de control de la invención permite, por tanto, durante una fase anterior de aprendizaje, determinar el ángulo θ_1 del rotor R1 del primer motor Mot1 eléctrico síncrono y el ángulo θ_2 del rotor R2 del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono. El procedimiento de control de la invención se implementa enviando señales de tensión en paralelo en los dos motores Mot1, Mot2 eléctricos síncronos.

20 La demostración que sigue muestra que es posible determinar los ángulos θ_1, θ_2 de los dos motores R1, R2 manteniendo la salida del variador de velocidad conectada a los dos motores eléctricos síncronos.

Bajo un enfoque Hamiltoniano, un modelo matemático del motor eléctrico síncrono de imán permanente, que incluye el fenómeno de saturación magnética, sigue, por ejemplo, la siguiente expresión:

$$H_{ms}(\psi_{sd}, \psi_{sq}) = \frac{\psi_{sd}^2}{2 \cdot L_d} + \frac{\psi_{sq}^2}{2 \cdot L_q} + \frac{s}{L_d \cdot L_q} \cdot \psi_{sd} \psi_{sq}^2 \quad (1)$$

30 en la cual:

ψ_s : escritura compleja del flujo de fuga del estator $\psi_{sd} + j \cdot \psi_{sq}$

ψ_{sd} : flujo de fuga del estator del eje d

ψ_{sq} : flujo de fuga del estator del eje q

L_d : inductancia del eje d

35 L_q : inductancia del eje q

s: el coeficiente de saturación magnética

Considerando que un solo motor eléctrico síncrono está conectado al variador de velocidad, es posible determinar el ángulo θ de su rotor inyectando una señal de tensión de alta frecuencia. Esta inyección de tensiones realizada sin generar el par, es decir sin ocasionar un desplazamiento del rotor. La inyección de alta frecuencia permite una medida de corriente que proporciona una imagen de la posición del rotor del motor eléctrico síncrono.

40 La inyección de una señal de tensión de alta frecuencia en la referencia (a, b) fija vinculada al estator, se expresa de la siguiente manera:

$$u_{Sab} = \tilde{u}_s \cdot f(\Omega \cdot t)$$

45 donde \tilde{u}_s es una amplitud compleja y representa la parte de alta frecuencia, f es una función periódica de media nula (de período $1/\Omega$ y amplitud 1) y F su primitiva centrada.

La función f puede tomar por ejemplo una forma de una señal cuadrada o de una señal sinusoidal.

5 En la solución propuesta, la tensión $U_{S_{ab}}$ no está compuesta de esta señal de alta frecuencia. Sin pérdida de generalidad, podríamos considerar una tensión $U_{S_{ab}}$ formada de diferentes señales cuyas frecuencias están lo suficientemente separadas, de un factor cinco, por ejemplo. En caso de aplicación se podría considerar que esta tensión está compuesta de una señal constante (frecuencia de inyección = 0Hz) y de una señal de alta frecuencia tal y como se ha descrito anteriormente.

A partir del modelo del motor definido anteriormente, se pueden obtener las expresiones de las oscilaciones de la corriente del estator resultantes de la inyección de la señal de tensión de alta frecuencia.

La oscilación de la corriente (\tilde{i}_{Smot}) en el primer orden sigue la relación siguiente:

$$10 \quad \tilde{i}_{Smot} = \frac{\lambda}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot \frac{\tilde{u}_S}{\Omega} + \frac{\mu}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot e^{j2\theta} \cdot \frac{\tilde{u}_S^*}{\Omega} \quad (2)$$

Una oscilación de corriente ($\tilde{\tilde{i}}_{Smot}$) en el segundo orden sigue la relación siguiente:

$$\tilde{\tilde{i}}_{Smot} = \frac{1}{4} \cdot \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot \left(\frac{\tilde{u}_S^2}{\Omega^2} + 2 \cdot \frac{\tilde{u}_S \cdot \tilde{u}_S^*}{\Omega^2} \cdot e^{j2\theta} - 3 \cdot \frac{\tilde{u}_S^{*2}}{\Omega^2} \cdot e^{j4\theta} \right) \cdot e^{-j\theta} \quad (3)$$

en las cuales:

$$\lambda = \frac{L_d + L_q}{2} \quad \mu = \frac{-L_d + L_q}{2}$$

15 θ representa el ángulo del rotor del motor eléctrico síncrono

Ω representa la frecuencia de la señal de alta frecuencia inyectada,

\tilde{u}_S^* representa la conjugada de la tensión \tilde{u}_S

20 A partir de estas dos expresiones, de los parámetros del motor y después de medir las oscilaciones de la corriente de estator en el primer orden y el segundo orden, es por tanto posible para el variador de velocidad determinar el ángulo θ del rotor de un sólo motor eléctrico síncrono que se le conecta.

Considerando de forma más particular la inyección de una señal de tensión según el eje de referencia fijo (a, b) vinculado al estator, se tiene:

$$\tilde{u}_S = \tilde{u}_S^*$$

Se obtiene por tanto:

$$25 \quad \tilde{i}_{Smot} = \frac{\lambda + \mu \cdot e^{j2\theta}}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot \frac{\tilde{u}_S}{\Omega} \quad (4)$$

$$\tilde{\tilde{i}}_{Smot} = \frac{1}{4} \cdot \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot \left(e^{-j\theta} + 2 \cdot e^{j\theta} - 3 \cdot e^{j3\theta} \right) \cdot \frac{\tilde{u}_S^2}{\Omega^2}$$

Para simplificar el tratamiento implementado en el variador de velocidad, será del mismo modo posible inyectar tres señales de tensión de alta frecuencia sucesivas según tres ejes, desplazadas entre ellos $2\pi/3$.

Se obtendrá, por tanto:

$$\tilde{i}_{S123} = 0 \quad \tilde{\tilde{i}}_{S123} = \frac{3}{2} \cdot \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot e^{j\theta} \cdot \frac{\tilde{u}^2}{\Omega^2} \quad (5)$$

30 Con \tilde{i}_{S123} que corresponde a la resultante de las oscilaciones en el primer orden de la corriente del estator obtenidas con resultado de las inyecciones sucesivas de tres señales de tensión y $\tilde{\tilde{i}}_{S123}$ que corresponde la resultante de las oscilaciones en el segundo orden de la corriente del estator como resultado de las inyecciones sucesivas de las tres señales de tensión.

El procedimiento de inyección y las expresiones (4) y (5) obtenidas anteriormente para la determinación del ángulo θ del rotor para un solo motor eléctrico síncrono conectado al variador de velocidad se pueden aplicar a la determinación de dos ángulos θ_1, θ_2 de los rotores cuando dos motores eléctricos sincronizados están conectados en paralelo al variador de velocidad.

- 5 Una señal de tensión de alta frecuencia es inyectada en los dos motores eléctricos síncronos por el variador de velocidad, sin generar par, como si un sólo motor eléctrico síncrono estuviera conectado al variador de velocidad. Las oscilaciones de la corriente obtenidas en respuesta provienen por tanto de los dos motores eléctricos síncronos y tiene por tanto en cuenta la posición del rotor de cada motor eléctrico síncrono. La invención consiste por tanto en poder extraer de la señal de corriente medida, la posición del rotor R1 del primer motor Mot1 eléctrico síncrono y la posición del rotor R2 del segundo motor Mot2 eléctricos síncrono.

10 Cuando dos motores Mot1, Mot2 eléctricos síncronos son conectados a la salida de un mismo variador de velocidad, las oscilaciones de la corriente (\tilde{i}_s) en el primer orden que son medidas corresponden a la suma de las oscilaciones de la corriente (\tilde{i}_{smot1}) de estator en el primer orden del primer motor Mot1 eléctrico síncrono y las oscilaciones de la corriente (\tilde{i}_{smot2}) de estator en el primer orden del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono y las oscilaciones de la corriente (\tilde{i}_s) en el segundo orden que son medidas corresponden a la suma de las oscilaciones de la corriente (\tilde{i}_{smot1}) de estator en el segundo orden del primer motor eléctrico síncrono y las oscilaciones de la corriente (\tilde{i}_{smot2}) de estator en el segundo orden del segundo motor Mot2 eléctricos síncrono. Esto se expresa por las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \tilde{i}_s &= \tilde{i}_{smot1} + \tilde{i}_{smot2} \\ \tilde{i}_s &= \tilde{i}_{smot1} + \tilde{i}_{smot2} \end{aligned} \quad (6)$$

20 en las cuales:

- \tilde{i}_{smot1} corresponde a las oscilaciones de la corriente del estator en el primer orden del primer motor Mot1 eléctrico síncrono,
- \tilde{i}_{smot2} corresponde a las oscilaciones de la corriente del estator en el primer orden del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono,
- 25 - \tilde{i}_{smot1} corresponde a las oscilaciones de la corriente del estator en el segundo orden del primer motor Mot1 eléctrico síncrono,
- \tilde{i}_{smot2} corresponde a las oscilaciones de la corriente del estator en el segundo orden del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono,

Hagamos las siguientes notaciones:

$$30 \quad \tilde{u}_s = e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}$$

Con \tilde{u} que es la amplitud (real) de inyección de la señal de tensión de alta frecuencia y α que es la fase de la inyección (si la inyección de la señal es realizada en el eje a de la referencia (a, b) fija vinculada al estator, por tanto, $\alpha = 0$). No hay limitación en la amplitud de la tensión inyectada. Debe generar una señal de corriente perceptible que será utilizada para identificar la posición de los flujos (por tanto, de los rotores) de dos motores eléctricos síncronos.

35 Retomando las expresiones generales (2) y (3) anteriores que expresaban las oscilaciones de la corriente de estator en el primer orden y el segundo orden, para un solo motor eléctrico síncrono conectado al variador de velocidad, se obtienen las siguientes relaciones (7):

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Omega \cdot \tilde{i}_{smot}}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}} \right) &= \left(\frac{\lambda}{\lambda^2 - \mu^2} \right) + \left(\frac{\mu}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot e^{-j2\alpha} \right) \cdot e^{j2\theta} = g_{mot} + h_{mot} \cdot e^{j2\theta} \\ \left(\frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{i}_{smot}}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_s^2} \right) &= \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot \left(e^{-j\theta} + 2 \cdot e^{-j2\alpha} \cdot e^{j\theta} - 3 \cdot e^{-j4\alpha} \cdot e^{j3\theta} \right) \quad (7) \\ &= k_{mot} \cdot e^{-j\theta} + l_{mot} \cdot e^{j\theta} + m_{mot} \cdot e^{j3\theta} \end{aligned}$$

en las cuales:

$$g_{\text{mot}} = \frac{\lambda}{\lambda^2 - \mu^2} \quad h_{\text{mot}} = \frac{\mu}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot e^{-j2\alpha}$$

$$k_{\text{mot}} = \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \quad l_{\text{mot}} = 2 \cdot \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot e^{-j2\alpha}$$

$$m_{\text{mot}} = -3 \cdot \frac{s}{\lambda^2 - \mu^2} \cdot e^{-j4\alpha}$$

A partir de las relaciones (7) y utilizando los índices 1 (respectivamente 2) para señalar los parámetros del motor 1 (respectivamente del motor 2), las relaciones (6) escritas anteriormente pueden por tanto volverse escribir para cada motor.

5 Para el motor 1:

$$g_1 = g_{\text{mot1}} + h_{\text{mot1}} \cdot e^{j2\theta_1}$$

$$n_1 = k_{\text{mot1}} \cdot e^{-j\theta_1} + l_{\text{mot1}} \cdot e^{j\theta_1} + m_{\text{mot1}} \cdot e^{j3\theta_1} \quad (8)$$

con:

$$g_1 = \frac{\Omega \cdot \tilde{\xi}_{\text{mot1}}}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n_1 = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{\xi}_{\text{mot1}}}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_S^2}$$

Para el motor 2:

10

$$g_2 = g_{\text{mot2}} + h_{\text{mot2}} \cdot e^{j2\theta_2}$$

$$n_2 = k_{\text{mot2}} \cdot e^{-j\theta_2} + l_{\text{mot2}} \cdot e^{j\theta_2} + m_{\text{mot2}} \cdot e^{j3\theta_2} \quad (9)$$

con:

$$g_2 = \frac{\Omega \cdot \tilde{\xi}_{\text{mot2}}}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n_2 = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{\xi}_{\text{mot2}}}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_S^2}$$

15

Al final, a partir de las expresiones (6), se obtienen las relaciones (10) y (11) a continuación que permiten determinar el ángulo θ_1 del rotor R1 del primer motor Mot1 eléctrico síncrono conectado al variador de velocidad y el ángulo θ_2 del rotor R2 del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono conectado al variador de velocidad:

$$g = g_1 + g_2 = g_{\text{mot1}} + h_{\text{mot1}} \cdot e^{j2\theta_1} + g_{\text{mot2}} + h_{\text{mot2}} \cdot e^{j2\theta_2}$$

$$n = n_1 + n_2 = k_{\text{mot1}} \cdot e^{-j\theta_1} + l_{\text{mot1}} \cdot e^{j\theta_1} + m_{\text{mot1}} \cdot e^{j3\theta_1} + k_{\text{mot2}} \cdot e^{-j\theta_2}$$

$$+ l_{\text{mot2}} \cdot e^{j\theta_2} + m_{\text{mot2}} \cdot e^{j3\theta_2}$$

Con:

$$g = \frac{\Omega \cdot \tilde{b}}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{b}}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_S^2}$$

5 A partir de los parámetros del primer motor Mot1 eléctrico síncrono, de los parámetros del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono, de la medida de las oscilaciones de la corriente del estator resultante, en el primer orden y el segundo orden, estas oscilaciones que resultan de la inyección de la señal de tensión de alta frecuencia según un eje determinado en la referencia (a, b) fija vinculada al estator, es por tanto posible determinar el ángulo θ_1 del rotor R1 del primer motor Mot1 eléctrico síncrono y el ángulo θ_2 del rotor R2 del segundo motor Mot2 eléctrico síncrono.

10 Las ecuaciones (10), (11) pueden resolverse de diferentes maneras. Una manera consiste por ejemplo en resolver en primer lugar la relación en el primer orden (la relación en la oscilación g del primer orden en F/Ω) para identificar varias soluciones, y seleccionar la única solución entre las soluciones ya encontradas gracias a la relación en el segundo orden (relación en oscilación n en el segundo orden F^2/Ω^2).

15 Una vez se han determinado los ángulos θ_1 y θ_2 de los dos rotores R1, R2, el variador de velocidad puede establecer una etapa de alineación de los dos motores R1, R2. Por supuesto, se pueden establecer diferentes estrategias para realizar la alineación de los dos motores. Estas estrategias son por ejemplo memorizadas en el variador de velocidad y aplicadas a elección del usuario. La alineación puede por ejemplo efectuarse desplazando el rotor de uno de los dos motores eléctricos síncronos para alinearlo en el rotor del otro motor eléctrico síncrono. La estrategia empleada puede del mismo modo consistir en desplazar los dos rotores hacia una posición mediana intermedia o hacia una posición ponderada teniendo en cuenta la inercia de cada motor eléctricos síncrono o de las potencias puestas en juego.

20 Después de haber alineado los dos rotores R1, R2, el variador de velocidad puede controlar los dos motores Mot1, Mot2 eléctricos síncronos empleando una sola ley de control y enviando las mismas señales de control a los dos motores eléctricos síncronos.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de control implementado en un convertidor de potencia que comprende una salida conectada a dos motores (Mot1, Mot2) eléctricos síncronos de imán permanente en paralelo, dicho convertidor de potencia que está controlado para aplicar una tensión de alimentación en su salida, cada motor eléctrico síncrono de imán permanente que comprende un estator y un rotor (R1, R2) **caracterizado porque** comprende:

- una etapa de aplicación de una señal de tensión de alta frecuencia, sin generar par, es decir sin ocasionar un desplazamiento de su rotor, en los motores (Mot1, Mot2) eléctricos síncronos de imán permanente, según al menos un eje en una referencia (a, b) fija, causando oscilaciones de la corriente en la salida del convertidor de potencia,

10 - una etapa de medida de las oscilaciones de corriente obtenidas en la salida del convertidor de potencia,

- una etapa de determinación para determinar el ángulo (θ_1) del rotor (R1) del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente y el ángulo (θ_2) del rotor (R2) del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente a partir de las oscilaciones de la corriente medida.

15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa de determinación del ángulo (θ_1) del rotor (R1) del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente se implementa teniendo en cuenta parámetros del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la etapa de determinación del ángulo (θ_2) del rotor (R2) del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente se implementa teniendo en cuenta parámetros del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente.

20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el ángulo (θ_1) del rotor (R1) del primer motor (Mot1) de imán permanente y el ángulo (θ_2) del rotor (R2) del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente son determinados a partir de las siguientes relaciones:

$$g = g_{mot1} + h_{mot1} \cdot e^{j2\theta_1} + g_{mot2} + h_{mot2} \cdot e^{j2\theta_2}$$

$$n = k_{mot1} \cdot e^{-j\theta_1} + l_{mot1} \cdot e^{j\theta_1} + m_{mot1} \cdot e^{j3\theta_1} + k_{mot2} \cdot e^{-j\theta_2} + l_{mot2} \cdot e^{j\theta_2} + m_{mot2} \cdot e^{j3\theta_2}$$

en las cuales:

$$g = \frac{\Omega \cdot \tilde{i}_s}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{i}_s}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}_s^2}$$

25 - g_{mot1} , h_{mot1} , k_{mot1} , l_{mot1} , m_{mot1} son constantes que son función de parámetros del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente,

- g_{mot2} , h_{mot2} , k_{mot2} , l_{mot2} , m_{mot2} son constantes que son función de parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente,

30 - \tilde{i}_s representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el primer orden,

- \tilde{i}_s representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el segundo orden,

- α representa el ángulo formado por el eje de la inyección en la referencia fija,

- Ω representa la frecuencia de la señal de tensión de alta frecuencia que es aplicada,

- \tilde{u} representa la amplitud de la inyección de la señal de tensión de alta frecuencia y

$$\tilde{u}_s = e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}$$

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** comprende una etapa de alineación de los rotores (R1, R2) según una estrategia determinada, memorizada en el convertidor de potencia.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la etapa de alineación se implementa teniendo en cuenta la inercia del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente y la inercia del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente.
7. Convertidor de potencia que comprende una salida destinada a estar conectada a dos motores (Mot1, Mot2) eléctricos síncronos de imán permanente en paralelo, dicho convertidor de potencia que está controlado para aplicar una tensión de alimentación en su salida, cada motor (Mot1, Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente que comprende un estator y un rotor (R1, R2) caracterizado porque comprende:
- medios de aplicación de una señal de tensión de alta frecuencia, sin generar par, es decir sin ocasionar un desplazamiento de su rotor, en los motores (Mot1, Mot2) eléctricos síncronos de imán permanente, según al menos un eje en una referencia fija, causando oscilaciones de la corriente en la salida del convertidor de potencia,
 - medios de medida de las oscilaciones de corriente obtenidas en la salida del convertidor de potencia,
 - medios de determinación para determinar el ángulo (θ_1) del rotor (R1) del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente y el ángulo (θ_2) del rotor (R2) del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente a partir de las oscilaciones de la corriente medida.
8. Convertidor de potencia según la reivindicación 7, **caracterizado porque** los medios de determinación son activados para determinar el ángulo (θ_1) del rotor del primer motor (Mot1) eléctrico síncrono de imán permanente teniendo en cuenta parámetros del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente.
9. Convertidor de potencia según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado porque** los medios de determinación son activados para determinar el ángulo (θ_2) del rotor (R2) del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente teniendo en cuenta parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente.
10. Convertidor de potencia según una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado porque** el ángulo (θ_1) del rotor (R1) del primer motor (Mot1) de imán permanente y el ángulo (θ_2) del rotor (R2) del segundo motor (Mot2) eléctrico síncrono de imán permanente son determinados a partir de las siguientes relaciones:

$$g = g_{mot1} + h_{mot1} \cdot e^{j2\theta_1} + g_{mot2} + h_{mot2} \cdot e^{j2\theta_2}$$

$$n = k_{mot1} \cdot e^{-j\theta_1} + l_{mot1} \cdot e^{j\theta_1} + m_{mot1} \cdot e^{j3\theta_1} + k_{mot2} \cdot e^{-j\theta_2} + l_{mot2} \cdot e^{j\theta_2} + m_{mot2} \cdot e^{j3\theta_2}$$

en las cuales:

$$g = \frac{\Omega \cdot \tilde{i}_s}{e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}}$$

$$n = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot \tilde{i}_s}{e^{j2\alpha} \cdot \tilde{u}^2}$$

- 30 - g_{mot1} , h_{mot1} , k_{mot1} , l_{mot1} , m_{mot1} son constantes que son función de parámetros del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente,
- g_{mot2} , h_{mot2} , k_{mot2} , l_{mot2} , m_{mot2} son constantes que son función de parámetros del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente,
- \tilde{i}_s representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el primer orden,
- 35 - $\tilde{\tilde{i}}_s$ representa las oscilaciones de la corriente obtenidas en el segundo orden,
- α representa el ángulo formado por el eje de la inyección en la referencia fija,

- Ω representa la frecuencia de la señal de tensión de alta frecuencia que es aplicada,

- \tilde{u} representa la amplitud de la inyección de la señal de tensión de alta frecuencia y

- $\tilde{u}_s = e^{j\alpha} \cdot \tilde{u}$

5 11. Convertidor de potencia según una de las reivindicaciones 7 a 10, **caracterizado porque** comprende medios de alineación de los rotores según una estrategia determinada memorizada en el convertidor de potencia.

12. Convertidor de potencia según la reivindicación 11, **caracterizado porque** los medios de alineación comprenden medios de determinación de una estrategia de alineación teniendo en cuenta la inercia del primer motor eléctrico síncrono de imán permanente y la inercia del segundo motor eléctrico síncrono de imán permanente.

