

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 590 878**

51 Int. Cl.:

H02P 21/24 (2006.01)

H02P 6/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.06.2013 PCT/EP2013/061703**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.12.2013 WO13186115**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2013 E 13727603 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.06.2016 EP 2862269**

54 Título: **Sistema de control de un motor eléctrico síncrono**

30 Prioridad:

13.06.2012 FR 1255537

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

23.11.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DEFAIX, OLIVIER y
DEVOS, THOMAS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 590 878 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

Sistema de control de un motor eléctrico síncrono

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de control implementado en un variador de velocidad conectado a un motor eléctrico síncrono.

Estado de la técnica

10 En un motor eléctrico síncrono, con par nulo, la corriente en el estátor del motor es nula, pero el motor puede continuar girando y, por lo tanto, tener una velocidad no nula. En un contexto de seguridad funcional, es habitual monitorizar la velocidad de un motor eléctrico ejecutando dos algoritmos independientes, diferentes y redundantes. Cuando el motor eléctrico síncrono gira mientras la corriente en el estátor es nula, la estimación de la velocidad del motor con un algoritmo basado en la corriente en el estátor puede resultar, por tanto, difícil.

15 Unas técnicas con inyecciones de alta frecuencia permiten estimar el ángulo del motor y, por lo tanto, su velocidad de rotación. Es el caso de la solicitud de patente US 2007/0236167A1. Uno de los inconvenientes de este método es la necesidad de un desacoplamiento suficiente de las escalas de tiempo (la inyección debe ser rápida con respecto a la frecuencia de rotación). También es preciso que las ondulaciones de corriente sean suficientes para pasar por alto los efectos no lineales de los sensores de corriente (cuantificación, por ejemplo).

El objetivo de la invención es ofrecer un sistema de control implementado en un variador de velocidad que permita estimar la velocidad de un motor eléctrico síncrono, incluso cuando el par es nulo, sin el conocimiento de los parámetros del motor, ni inyección de alta frecuencia.

20 **Descripción de la invención**

25 Este objetivo se consigue mediante un sistema de control incluido en un variador de velocidad conectado por unas fases de salida a un motor eléctrico síncrono, estando dicho motor eléctrico síncrono controlado según una ley de control implementada por el variador de velocidad, determinándose una primera velocidad del motor eléctrico síncrono mediante un primer estimador de velocidad, constando dicho sistema de un segundo estimador de velocidad que permite determinar una segunda velocidad del motor eléctrico síncrono y de un módulo generador de señal previsto para generar una señal de corriente de estimación no constante que se añade a la corriente de flujo de referencia de modo que se cree una corriente de flujo de referencia corregida que se aplica en la entrada de la ley de control, ejecutándose dicha ley de control para determinar las tensiones que hay que aplicar en las fases de salida, estando el segundo estimador previsto para recuperar la respuesta de corriente en las fases de salida, con vistas a deducir de esta la segunda velocidad del motor eléctrico síncrono.

De manera preferente, la señal de corriente es de tipo sinusoidal de baja frecuencia con respecto a la frecuencia del motor eléctrico. La frecuencia de la señal inyectada debe ser inferior a la frecuencia del motor, por ejemplo en una proporción de diez.

De manera preferente, la señal de corriente es no generadora de par.

35 Según una particularidad, el sistema consta de un bloque de seguridad previsto para comparar la primera velocidad y la segunda velocidad determinadas para el motor eléctrico síncrono.

Según otra particularidad, el primer estimador de velocidad está previsto en una ley de control implementada por el sistema de control.

40 Según la invención, el módulo generador de señal se activa mediante el segundo estimador, mediante un control externo o está activo de forma permanente.

Breve descripción de las figuras

Se van a mostrar otras características y ventajas en la descripción detallada que viene a continuación hecha en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

- 45 – la figura 1 representa el sistema de control de la invención;
- las figuras 2A y 2B representan unas curvas de simulación establecidas sin el sistema de control de la invención;
- las figuras 3A y 3B representan unas curvas de simulación establecidas con el sistema de control de la invención.

50

Descripción detallada de al menos una forma de realización

La invención se refiere a un sistema de control implementado en un variador de velocidad para el control de un motor eléctrico síncrono.

De manera conocida, un variador de velocidad consta de:

- 5 – tres fases A, B, C de entrada conectadas a una red RD de distribución eléctrica;
- un módulo REC rectificador situado en la entrada y destinado a convertir una tensión alterna suministrada por la red RD de distribución eléctrica en una tensión continua;
- un bus continuo de alimentación conectado, aguas arriba, al módulo REC rectificador y, aguas abajo, al módulo INV inversor y que consta de dos líneas L1, L2 de alimentación entre las que se aplica la tensión continua;
- 10 – un condensador Cbus de bus conectado a las dos líneas L1, L2 de alimentación y encargado de mantener la tensión continua del bus a un valor constante;
- un módulo INV inversor conectado por tres fases 1, 2, 3 de salida al motor M eléctrico síncrono y controlado por unas señales de control generadas por una unidad de control que implementa una ley LC de control determinada. El módulo INV inversor de un variador de velocidad consta de varios brazos de conmutación, por ejemplo un total de tres si el motor M es trifásico. Cada brazo de conmutación consta de dos transistores de potencia, por ejemplo de tipo IGBT (del inglés “Insulated Gate Bipolar Transistor”, transistor bipolar de puerta aislada), cada uno controlado por un dispositivo de control que recibe unas señales de control por parte de la unidad de control.

20 La invención se aplica a un variador de velocidad que funciona según una ley de control en bucle abierto. Esta presenta un especial interés en un marco de seguridad funcional.

En bucle abierto, un primer estimador ejecutado por la unidad de control permite determinar una primera velocidad $W1s$ estimada del motor M eléctrico síncrono. Para estimar la velocidad del motor eléctrico síncrono, este primer estimador E1 de velocidad se basa por ejemplo en la ley LC de control o en unas mediciones de tensión en las fases 1, 2, 3 de salida si dichos datos están disponibles.

25 En un contexto de seguridad funcional, es necesario un segundo estimador E2 para determinar una segunda velocidad $W2s$ estimada del motor eléctrico síncrono. El sistema de control consta de un bloque BS de seguridad que permite comparar la segunda velocidad $W2s$ estimada y la primera velocidad $W1s$ estimada. Si aparecen divergencias entre las dos velocidades estimadas, el bloque BS de seguridad tendrá, por ejemplo, que detener el motor M eléctrico síncrono.

30 En el campo de la seguridad funcional, con vistas a evitar cualquier punto común de avería, los dos estimadores E1, E2 son diferentes, en su principio de funcionamiento y en su realización.

La monitorización de la velocidad mediante los dos estimadores E1, E2 redundantes con diferentes objetivos, previstos en una norma conocida (por ejemplo, la norma IEC 61800-5-2), como por ejemplo el límite de velocidad segura (SLS, del inglés “Safe Limited Speed”) o la parada segura (SS1, del inglés “Safe Stop 1”).

35 En un motor M eléctrico síncrono, la corriente en el estátor es nula cuando el par es nulo. Sin embargo, en esta situación, el motor M puede no obstante estar aun girando y, por lo tanto, tener una velocidad no nula. La estimación de la velocidad del motor eléctrico síncrono con par nulo no puede, por lo tanto, realizarse basándose en la corriente en el estátor.

40 Según la invención, cuando el par es nulo, el segundo estimador E2 de velocidad permite estimar la velocidad del motor eléctrico síncrono mientras que la corriente en el estátor es nula. El sistema está previsto para aplicar, en las fases 1, 2, 3 de salida, unas tensiones $V1$, $V2$, $V3$ representativas de una señal de corriente, denominada señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación, no generadora de par, y para medir la respuesta de corriente en las fases de salida, con vistas a deducir de esta una velocidad del motor eléctrico síncrono.

45 Esta señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación se aplica en la dirección del flujo permanente del imán del motor M eléctrico síncrono, es decir a lo largo del eje d del control, denominado eje de flujo. La aplicación de una corriente en la dirección del flujo del imán permite no crear perturbaciones en el motor M cuando este está en marcha.

50 Según la invención, la señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación es no constante, de manera preferente sinusoidal. Por señal no constante, se entiende una señal cuya derivada no es nula en un periodo determinado. De este modo será independiente de la ley de control, de los parámetros del motor M eléctrico síncrono y de la limitación de tensión. En efecto, en función de la ley LC de control, el valor medio de la corriente de flujo no es necesariamente igual a la corriente de flujo real. Es, por lo tanto, posible tener una corriente nula en las fases de salida aunque la consigna sea no nula y constante. Una señal no constante permite superar este problema y garantizar una señal real no nula (salvo en algunos puntos) que permite estimar la velocidad del motor.

Además, la señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación es de manera preferente no generadora de par. Por señal de corriente no generadora de par, se entiende una señal que tiene una frecuencia suficientemente lenta para no crear ninguna perturbación de par.

5 Su amplitud puede ser fija, por ejemplo seleccionada en función de la corriente nominal del motor eléctrico síncrono, o variable, teniendo en cuenta las corrientes medidas en las fases de salida.

10 En referencia a la figura 1, la señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación procede de un módulo MS generador de señal. El módulo MS generador de señal genera la señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación que se añade a la corriente $I_{d_{ref}}$ de flujo de referencia, normalmente aplicada en la entrada de la ley LC de control. La corriente $I_{d_{ref_c}}$ de flujo de referencia corregida que se aplica en la entrada de la ley LC de control es, por lo tanto, representativa de la señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación evocada con anterioridad. De manera conocida, a partir de la corriente $I_{d_{ref_c}}$ de flujo de referencia corregida y de las mediciones de las corrientes I_d de flujo y I_q de par (obtenidas después de las transformaciones T1), la ley LC de control determina las tensiones que hay que aplicar en las fases 1, 2, 3 de salida, por ejemplo a través de las transformaciones T2 de Concordia y Park. De este modo, las tensiones V_1, V_2, V_3 calculadas se aplican en las fases de salida mediante el control de MAP (Modulación por Ancho de Pulso) del módulo INV inversor.

15 El segundo estimador E2 de velocidad recupera la medición de al menos dos corrientes 11, 13 inyectadas en las tres fases del motor M y a continuación determina, únicamente a partir de estas mediciones, la segunda velocidad W_{2s} estimada del motor M eléctrico síncrono (sin utilizar datos de motor). La determinación de la segunda velocidad se realiza empleando un bucle de enganche de fase (PLL, del inglés "Phase Locked Loop").

20 Como se ha descrito con anterioridad, la primera velocidad W_{1s} estimada del motor eléctrico procede, por ejemplo, directamente de la ley LC de control. El bloque BS de seguridad compara a continuación la primera velocidad W_{1s} estimada y la segunda velocidad W_{2s} estimada. Si aparecen divergencias, el bloque BS de seguridad puede tener que detener el motor, por ejemplo mediante el bloqueo del módulo inversor.

25 La inyección de la señal $I_{d_{est}}$ de corriente de estimación permite que el segundo estimador E2 de velocidad conserve una segunda estimación de la velocidad mientras el par es nulo y, por lo tanto, implementar unos principios de seguridad funcional en todo el intervalo de funcionamiento del motor M eléctrico síncrono.

30 El módulo MS generador de señal puede estar activo de forma permanente o activarse solamente cuando el par es nulo y, por lo tanto, cuando la corriente en el estátor es nula. Podrá, por ejemplo, activarse mediante el segundo estimador E2 o mediante un control externo. Cuando el par no es nulo y cuando se puede detectar una corriente en el estátor, la generación de la señal $I_{d_{est}}$ de corriente no es, en efecto, necesaria ya que es posible estimar la velocidad del motor M eléctrico síncrono a partir de la corriente en el estátor.

Las figuras 2A, 2B, 3A y 3B ilustran el interés de la invención.

35 En las figuras 2A y 2B, no se implementa el segundo estimador de la invención. Se puede ver que entre el décimo y el vigésimo segundo, la corriente de motor es nula. La velocidad estimada del motor se considera entonces nula cuando en realidad la velocidad real del motor no lo es. El error en la velocidad del motor es, por lo tanto, importante e incompatible con unos principios de seguridad funcional.

40 En las figuras 3A y 3B, se implementa el segundo estimador de la invención. Por lo tanto, se aplica una corriente I_d de flujo sinusoidal y las corrientes 11, 12 y 13 pueden, por lo tanto, observarse en las fases de salida. Por lo tanto, se puede ver una corriente de motor, que no genera ningún par. La curva de velocidad estimada del motor está próxima a la curva de velocidad real del motor, lo que permite minimizar el error en la velocidad y, por lo tanto, garantizar un cierto nivel de seguridad.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (T_1 ; L_C ; E_1 ; T_2 ; E_2 ; BS; V_1 , V_2 , V_3 ; MS) de control incluido en un variador (RD; A.B.C; REC; C_{bus} ; L_1 , L_2 ; INV) de velocidad conectado por unas fases (1, 2, 3) de salida con un motor (M) eléctrico síncrono, estando dicho motor (M) eléctrico síncrono controlado según una ley (LC) de control implementada mediante el variador de velocidad, determinándose una primera velocidad ($W1s$) del motor eléctrico síncrono mediante un primer estimador ($E1$) de velocidad, permitiendo un segundo estimador ($E2$) de velocidad determinar una segunda velocidad ($W2s$) del motor (M) eléctrico síncrono y estando previsto para recuperar la respuesta ($I1$, $I2$, $I3$) de corriente en las fases de salida, de cara a deducir de la misma la segunda velocidad ($W2s$) del motor eléctrico síncrono, **caracterizándose** dicho sistema de control **porque** consta de un módulo (MS) generador de señal previsto para generar una señal ($I_{d_{est}}$) de corriente de estimación no constante que se añade a una corriente ($I_{d_{ref}}$) de flujo de referencia de modo que cree una corriente ($I_{d_{ref_c}}$) de flujo de referencia corregido que se aplica en la entrada de la ley (LC) de control, ejecutándose dicha ley de control para determinar unas tensiones (V_1 , V_2 , V_3) que hay que aplicar en las fases (1, 2, 3) de salida.
2. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la señal ($I_{d_{est}}$) de corriente es de tipo sinusoidal de baja frecuencia con respecto a la frecuencia del motor.
3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la señal de corriente no es generadora de par.
4. Sistema de control según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** consta de un bloque (BS) de seguridad previsto para comparar la primera velocidad ($W1s$) y la segunda velocidad ($W2s$) determinadas para el motor eléctrico síncrono.
5. Sistema de control según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer estimador ($E1$) de velocidad está previsto en una ley (LC) de control implementada por el sistema de control.
6. Sistema de control según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el módulo generador de señal es activado por el segundo estimador.
7. Sistema de control según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el módulo generador de señal es activado por un control externo.
8. Sistema de control según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el módulo (MS) generador de señal está activo de forma permanente.

Fig. 1

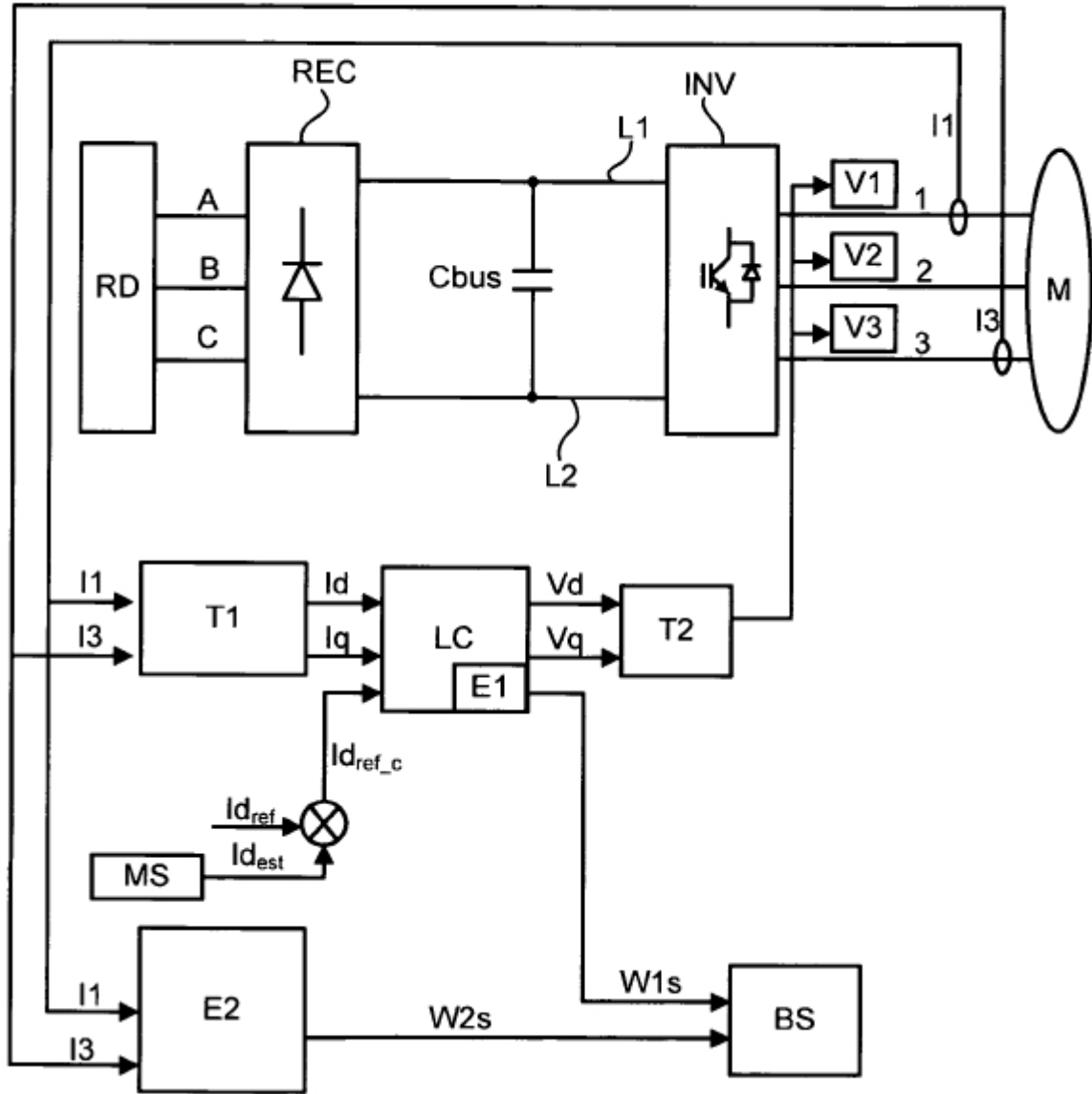


Fig. 2A

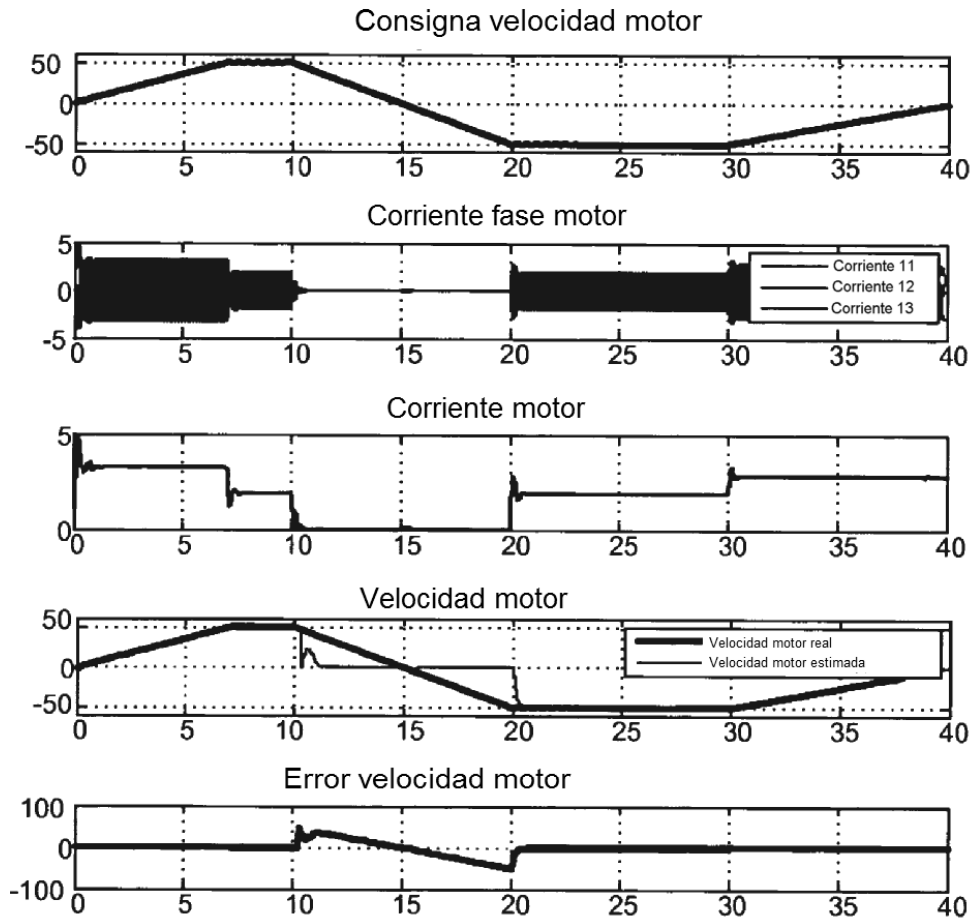


Fig. 2B

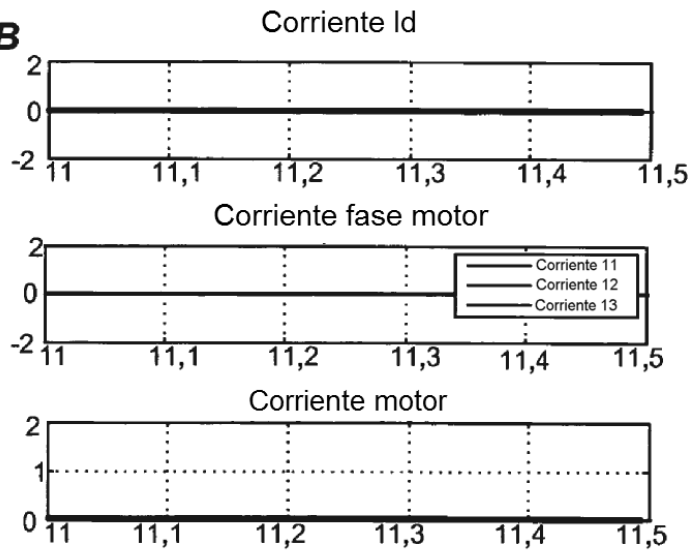


Fig. 3A

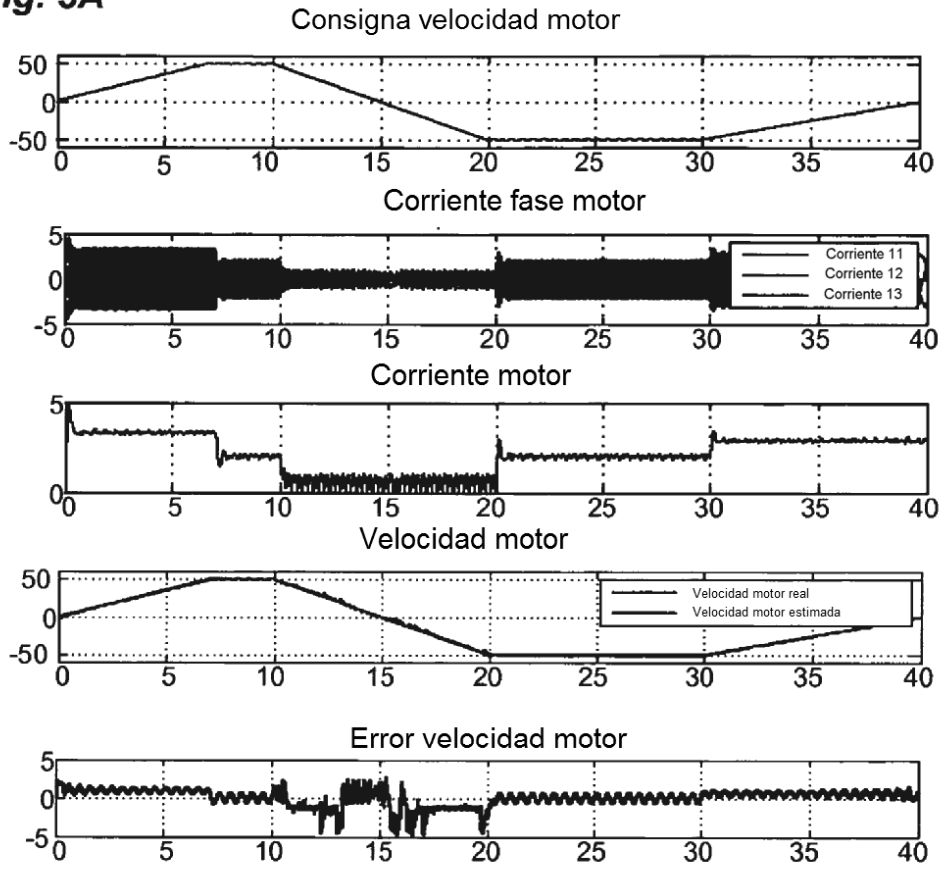


Fig. 3B

