

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 611 329**

51 Int. Cl.:

H02M 3/337 (2006.01)

H02H 7/09 (2006.01)

G01R 31/34 (2006.01)

H02P 21/00 (2006.01)

H02M 1/32 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2008 E 08103852 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2016 EP 2003461**

54 Título: **Procedimiento de detección de pérdida de una o varias fases en un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes**

30 Prioridad:

25.05.2007 FR 0755258

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

08.05.2017

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, RUE ANDRÉ BLANCHET
27120 PACY SUR EURE, FR**

72 Inventor/es:

**CAPITANEANU, STÉFAN;
JADOT, FABRICE;
KERMARREC, LUDOVIC y
MALRAIT, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 611 329 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 detección de pérdida de una o varias fases en un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes

5 La presente invención se refiere a un procedimiento implementado en un variador de velocidad para detectar la pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases en un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes. Este procedimiento se implementa en bucle cerrado, es decir con la medición de la velocidad o de la posición en el motor. La invención se refiere igualmente a un variador de velocidad susceptible de implementar el procedimiento definido en el presente documento anteriormente.

10 En un sistema que incluye un motor eléctrico y un variador de velocidad, la pérdida de una o varias fases es un fenómeno aleatorio. Puede surgir en el transcurso del funcionamiento o en la parada y puede deberse por ejemplo al aflojamiento de tornillos ocasionado por vibraciones, un corte del cable, un descuido en la conexión o a un contactor no controlado. La pérdida de una o varias fases puede provocar grandes daños y es importante por lo tanto poder identificar automáticamente la pérdida de una o varias fases en el motor.

15 El documento de patente US 7.161.375 describe un procedimiento para detectar la pérdida de una fase en un motor de imanes permanentes funcionando en bucle abierto. Este procedimiento no funciona más que cuando el motor está inicialmente parado y consiste en inyectar una corriente de par en los arrollamientos del motor, en medir una corriente en una fase del motor, en comparar el valor de la corriente determinado con un valor calculado y en decidir la pérdida de una fase si la diferencia de la corriente medida y el valor calculado es superior a un valor predeterminado. La solución invocada en esa patente no permite detectar la pérdida de todas las fases al mismo tiempo. Además, se implementa durante la fase de arranque del motor después de haber situado al motor en parada en una posición determinada.

20 El objeto de la invención es proponer un procedimiento para detectar la pérdida de una o varias fases del motor cuando este está en marcha o en parada y sin afectar al control del par, es decir sin generar oscilaciones suplementarias o pérdida de par.

25 El objeto se alcanza mediante un procedimiento implementado en un variador de velocidad para detectar una pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases en un motor síncrono trifásico de imanes permanentes en marcha o detenido en la parada, ejecutando dicho variador un control de funcionamiento en bucle cerrado, dicho procedimiento se caracteriza porque incluye las etapas de:

- 30 - determinación de una corriente de flujo de referencia en función de la corriente de par de referencia, siendo calculada dicha corriente de par de referencia a partir de la velocidad de referencia a aplicar al motor y de una medida de la velocidad o de la posición realizada sobre el motor,
- aplicación de la corriente de flujo de referencia con el fin de inyectar unas corrientes en las diferentes fases del motor,
- medida de las corrientes en al menos dos fases y determinación de la pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases a partir de estas corrientes medidas.

35 Según una particularidad, la pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases se determina al cabo de una duración predefinida.

Según otra particularidad, la corriente de flujo de referencia se aplica según una rampa de control inferior a la duración predefinida.

40 Según otra particularidad, si no se aplica ninguna corriente de par de referencia, se aplica una corriente de flujo de referencia mínima para poder detectar la pérdida de fases el motor.

Según otra particularidad, la corriente de flujo de referencia se incrementa hasta un valor final según una rampa de control mientras que la corriente de par de referencia sea inferior a dicho valor final.

Según otra particularidad, la corriente de flujo de referencia se disminuye hasta cero según una rampa de control a partir del momento en el que la corriente de par de referencia es superior a un valor determinado.

45 Según la invención, para detectar la pérdida de las tres fases cuando el motor está en marcha, el procedimiento incluye igualmente unas etapas de:

- determinación del módulo de corriente eficaz de las corrientes inyectadas en las tres fases,
- comparación del módulo de corriente eficaz determinado con un valor predeterminado,
- 50 - determinación de la pérdida de las tres fases del motor en marcha cuando el módulo de corriente eficaz permanece inferior al valor predeterminado durante una duración predefinida.

Para detectar la pérdida de una o varias fases cuando el motor está frenado en la parada, el procedimiento incluye unas etapas de:

- determinación del módulo de la tensión eficaz a aplicar al motor,
 - comparación del módulo de la tensión eficaz con un valor predeterminado,
- 5 - determinación de la pérdida de una o varias fases del motor frenado en la parada cuando el módulo de la tensión eficaz permanece superior al valor predeterminado durante una duración predefinida.

Cuando el motor está frenado en la parada, se incluye una etapa de determinación de una corriente de flujo a partir de las corrientes inyectadas en cada fase y una etapa de aplicación de esta corriente de flujo con un ángulo predefinido.

10 Para detectar la pérdida de una fase cuando el motor está en marcha, el procedimiento incluye unas etapas de:

- obtención del ángulo de referencia giratoria del control,
 - comparación del módulo de corriente eficaz aplicado en cada fase con un valor predeterminado,
 - en función de la comparación, asignación o no, del ángulo de referencia giratoria a cada uno de los ángulos de las corrientes inyectadas en las diferentes fases del motor,
- 15 - estudio de la variación de cada uno de los ángulos en el transcurso del tiempo y determinación de la pérdida de una fase del motor en marcha en función de este estudio.

La invención se refiere igualmente a un variador de velocidad adecuado para implementar un control funcionando en bucle cerrado para controlar un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes, siendo adecuado dicho variador para implementar el procedimiento definido en el presente documento anteriormente.

20 La idea principal de la invención es por tanto aplicar una corriente en la dirección del flujo sin afectar al control del par, es decir sin generar oscilaciones suplementarias o pérdida de par.

El motor está frenado en la parada, frenos apretados, en unas aplicaciones de tipo ascensor o elevador. En este caso, es importante saber que el motor está bien conectado antes de liberar el freno porque si no es posible una pérdida de carga. La detección de la pérdida de una o varias fases del motor debe implementarse por lo tanto en el variador antes del inicio de la rampa de aceleración.

25 Surgirán otras características y ventajas en la descripción detallada que sigue en referencia a un modo de realización dado a título de ejemplo y representado por unos dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 representa el esquema sinóptico del control implementado en el variador de velocidad para controlar el motor síncrono de imanes permanentes.
- 30 - Las figuras 2 y 3 ilustran los criterios implementados para detectar la pérdida de una o varias fases en el motor.

La invención consiste en detectar la pérdida de una o varias fases en un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes PMSM en marcha o en parada. Se implementa en un variador de velocidad que implementa un control que funciona en bucle cerrado, es decir con detección de velocidad o de la posición realizada en el motor PMSM.

35 En referencia a la figura 1, en el control implementado en un variador de velocidad 1 para motor eléctrico síncrono de imanes permanentes PMSM, es conocido enviar una velocidad de referencia W_{ref} , determinar una corriente de par de referencia I_{qref} a partir de la ley de control de velocidad LC empleada y devolver la medición de la velocidad W_{mes} , por ejemplo resultante de un cálculo a partir de un retorno de la posición cuando se funciona en bucle cerrado. La corriente de par de referencia I_{qref} así determinada se envía a un bloque de control 10 que permite determinar unas tensiones de control V_q y V_d . Estas tensiones de control V_d , V_q se aplican a un bloque de control 40 11 que las transforma, por ejemplo mediante la transformación de Park, en corrientes de control 11, 12, 13 a aplicar en las tres fases del motor de imanes permanentes PMSM.

La invención consiste en inyectar en el control del motor una corriente de flujo de referencia I_{dref} cuyo valor depende de la corriente de par de referencia I_{qref} determinada. La corriente de flujo de referencia I_{dref} se aplica por tanto en la dirección del flujo permanente del imán del motor PMSM, es decir según el eje de control, denominado eje de flujo. No debe aplicarse más que cuando una corriente de par no es suficiente para la identificación de la pérdida de fases del motor. La corriente de flujo I_{dref} se aplica así según una rampa de control determinada hasta alcanzar un valor final $I_{dOPF_{cont}}$. Mientras que la corriente de par de referencia I_{qref} sea inferior a este valor final $I_{dOPF_{cont}}$, la corriente de flujo de referencia I_{dref} se incrementa según su rampa de control hasta alcanzar su valor final $I_{dOPF_{cont}}$. La corriente de flujo de referencia I_{dref} permanece en este valor $I_{dOPF_{cont}}$ si la corriente de par de referencia I_{qref} no ha sobrepasado el valor de $I_{dOPF_{cont}}$. $I_{dOPF_{cont}}$ vale por ejemplo el 10% de la corriente nominal del motor M. Este valor puede ajustarse en función de la potencia del variador de velocidad utilizado. Por el contrario, mientras

que la corriente de par de referencia I_{qref} sea superior al valor $I_{dOPF_{cont}}$, la corriente de flujo de referencia I_{dref} se disminuye según la misma rampa de control hasta el valor cero. En la figura 1, la gestión de la corriente de flujo de referencia I_{dref} se realiza en el bloque de control 13 del esquema sinóptico.

5 La rampa de control de la corriente de flujo de referencia se elige inferior a la duración de la secuencia de detección de la pérdida de fases. Según los casos, la rampa de control es por ejemplo de 100 milisegundos o de 20 milisegundos. La duración predefinida de la secuencia de detección es por ejemplo de 500 milisegundos.

10 Según la invención, la aplicación de una corriente en la dirección del flujo del imán permite no crear perturbaciones en el motor cuando está en marcha. En efecto, la inyección de una corriente de flujo no crea oscilaciones de par suplementarias porque la corriente se aplica según unas rampas largas con relación a la dinámica del sistema pero cortas con relación al tiempo de detección del defecto. Por otro lado, no existe pérdida de par porque la corriente de flujo de referencia I_{dref} no se aplica más que cuando la corriente de par de referencia I_{qref} es reducida.

Según la invención, con el fin de detectar la pérdida de una fase, dos fases o tres fases cuando el motor está en marcha o frenado en la parada, el variador de velocidad implementa diferentes etapas que tienen en cuenta diferentes criterios determinados ejecutados por el variador de velocidad.

15 La determinación de la pérdida de una o varias fases se realiza gracias a la medición de las corrientes I1, I2, I3 inyectadas en las tres fases del motor. Es igualmente posible medir las corrientes en dos fases solamente y reconstituir la tercera corriente.

20 Las corrientes I1, I2, I3 obtenidas se tratan y transforman en un bloque de control 12 de manera que se obtenga una corriente de componente d y una corriente de componente q. Las dos corrientes I_d , I_q así determinadas se aplican en el bloque de control 10 con el fin de participar en la determinación de las tensiones de control V_d , V_q en función de la corriente de par de referencia I_{qref} y de la corriente de flujo de referencia I_{dref} .

25 Para la detección de la pérdida de las tres fases cuando el motor está en marcha, se aplica la condición siguiente. Si el módulo de corriente eficaz I_{eff} , igual a $\sqrt{I_d^2 + I_q^2}$, aplicado en las tres fases del motor permanece inferior al valor límite $I_{dOPF_{diag}}$ de la corriente de flujo de referencia I_{dref} , durante una duración predefinida, por ejemplo de 500 milisegundos, se identifica el defecto de pérdida de las tres fases.

Puede emplearse un contador de tiempo para realizar esta función. El contador se incrementa cada vez que la condición se satisface y se disminuye cuando la condición no se satisface. Cuando el contador de tiempo ha alcanzado la duración predefinida, esto significa que ninguna de las tres fases del motor está conectada al variador de velocidad.

30 Según la invención, $I_{dOPF_{diag}}$ puede ser igual a $I_{dOPF_{cont}}$ pero para mayor robustez en la detección, $I_{dOPF_{diag}}$ se elige superior a $I_{dOPF_{cont}}$, por ejemplo $I_{dOPF_{diag}} = 1,5 \times I_{dOPF_{cont}}$.

35 Cuando el motor está frenado en la parada, es decir con el freno apretado, la condición de determinación de la pérdida de las tres fases es diferente. En este caso, se trata de comparar el módulo de la tensión eficaz V_{eff} a aplicar al motor con un valor límite predefinido, designado en el presente documento a continuación UOPF igual por ejemplo al 37,5 % de la tensión proporcionada en el bus de continua del variador de velocidad. De manera conocida, el módulo de la tensión eficaz V_{eff} es igual a $\sqrt{V_d^2 + V_q^2}$; determinándose la tensión de par V_q y la tensión de flujo V_d a partir de las corrientes I_{dref} , I_{qref} y de las corrientes I_d e I_q procedentes de las mediciones de las corrientes I1, I2, I3 (figura 2). De ese modo, si el módulo de la tensión eficaz V_{eff} aplicada al motor es mayor que el valor límite UOPF, esto significa que ninguna de las tres fases del motor PMSM está conectada al variador de velocidad 1.

40 Para la determinación de la pérdida de una fase o de dos fases, los criterios de determinación son diferentes dado que siempre circula una corriente en el motor incluso si falta una fase.

Cuando el motor PMSM está en marcha, la detección de la pérdida de una fase se realiza estudiando la variación de los ángulos de las corrientes medidas.

45 Para cada fase, si el módulo de la corriente medida para cada fase, I1, I2 o I3 es superior a valor $I_{OPF_{123}}$, el ángulo θ_1 , θ_2 , θ_3 de cada una de las corrientes toma el valor medido del ángulo θ de la referencia giratoria del control. El ángulo θ se recupera a partir de la medición de la velocidad o de la posición realizada en el motor mediante unos procedimientos conocidos (figura 1). Por el contrario, si el módulo de la corriente medida en cada una de las fases es inferior al valor $I_{OPF_{123}}$, el ángulo θ_1 , θ_2 , θ_3 de cada una de las corrientes conserva su valor anterior que es el último valor correspondiente en el que el módulo de la corriente medida para cada fase era superior al valor $I_{OPF_{123}}$.
50 $I_{OPF_{123}}$ puede ser un valor predefinido, en función de la corriente nominal del motor o, para mayor robustez, puede ser variable en función de la corriente eficaz (I_{eff}) calculada a partir de las corrientes I1, I2, I3 medidas. En este último caso, $I_{OPF_{123}}$ es por ejemplo igual a la corriente eficaz I_{eff} dividida por cuatro.

A continuación, se trata de estudiar la variación en el transcurso del tiempo de cada uno de los ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 con relación a θ . Si los ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 varían poco o nada en absoluto en relación a θ durante una duración

predefinida, por ejemplo de 500 milisegundos, entonces la pérdida de fase puede identificarse en la fase 1, en la fase 2 o en la fase 3. Como anteriormente puede utilizarse un contador de tiempo para cada fase. Este contador se incrementa o disminuye si la condición se satisface o no.

En resumen:

5 Si $|I_{231}| > |OPF_{123}|$ entonces el ángulo θ_1 , θ_2 o θ_3 es igual a θ ,

Si $|I_{123}| \leq |OPF_{123}|$ entonces el ángulo θ_1 , θ_2 o θ_3 conserva su valor anterior.

Si $|\theta_1 - \theta|$ o $|\theta_2 - \theta|$ o $|\theta_3 - \theta| > \theta_{\min}$ durante una duración predefinida, por ejemplo de 500 milisegundos, se identifica la pérdida de la fase 1, de la fase 2 o de la fase 3. Se elige por ejemplo θ_{\min} igual a $\pi/2$.

10 La figura 3 muestra la variación de un ángulo θ_1 , θ_2 o θ_3 en función de la corriente sinusoidal medida 11, 12 o 13 correspondiente. En esta figura 3, se observa que cuando la corriente es reducida, el valor del ángulo θ_1 , θ_2 o θ_3 correspondiente permanece constante.

15 Cuando el motor está frenado en la parada, freno apretado, y cuando una o dos fases no están correctamente conectadas, las tensiones de control V_d , V_q alcanzan rápidamente unos niveles inadmisibles. Así como para la detección de la pérdida de tres fases cuando el motor está en marcha, el módulo de la tensión eficaz V_{eff} se convierte en superior al valor $UOPF$ predeterminado, si esta condición se satisface durante una duración predefinida, por ejemplo 500 milisegundos, es posible concluir en la pérdida de una fase. En esta situación, como las corrientes inyectadas son sinusoidales, es necesario poder estar seguro de no obtener una corriente nula en una fase mientras que no lo es y concluir en la pérdida de una fase mientras que no sea este el caso. Según la invención, la corriente de flujo I_d que se inyecta en el bloque de control 10 se orienta entonces según un ángulo predefinido, por ejemplo de valor cero, para el que se está seguro que se obtendrán corrientes si las tres fases estuviesen correctamente conectadas. El ángulo se mantiene con este valor durante la implementación del procedimiento de detección.

20 Como el freno está aplicado, la dinámica de la corriente de flujo de referencia no afecta a la dinámica del par, debido a ello, la corriente de flujo de referencia I_{dref} puede alcanzar el nivel de la corriente $I_{dOPF_{cont}}$ según una rampa de control más corta que cuando el motor está en marcha, por ejemplo de 20 milisegundos. Es posible igualmente conferir a $I_{dOPF_{cont}}$ un valor mayor por ejemplo del orden de la corriente nominal del motor.

25 Por supuesto que se puede, sin salirse del marco de la invención, imaginar otras variantes y perfeccionamientos de detalle e incluso concebir el empleo de medios equivalentes.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de implementación en un variador de velocidad (1) para detectar una pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases en un motor síncrono trifásico de imanes permanentes (PMSM) en marcha o detenido en la parada, ejecutando dicho variador un control de funcionamiento en bucle cerrado, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** incluye las etapas de:
 - determinación de una corriente de flujo de referencia (I_{dref}) en función de la corriente de par de referencia (I_{qref}), calculándose dicha corriente de par de referencia (I_{qref}) a partir de la velocidad de referencia (W_{ref}) a aplicar al motor y de una medida de la velocidad (W_{mes}) o de la posición realizada sobre el motor,
 - 10 - aplicación de la corriente de flujo de referencia (I_{dref}) con el fin de inyectar unas corrientes (I_1, I_2, I_3) en las diferentes fases del motor (PMSM),
 - medida de las corrientes en al menos dos fases y determinación de la pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases a partir de estas corrientes medidas.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la pérdida de una fase, de dos fases o de tres fases se determina al cabo de una duración predefinida.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la corriente de flujo de referencia se aplica según una rampa de control inferior a la duración predefinida.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** si no se aplica ninguna corriente de par de referencia, se aplica una corriente de flujo de referencia mínima para poder detectar la pérdida de fases.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la corriente de flujo de referencia (I_{dref}) se incrementa hasta un valor final ($I_{dOPF_{cont}}$) según una rampa de control mientras que la corriente de par de referencia (I_{qref}) sea inferior a dicho valor final ($I_{dOPF_{cont}}$).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la corriente de flujo de referencia se disminuye hasta cero según una rampa de control a partir del momento en el que la corriente de par de referencia es superior a un valor determinado ($I_{dOPF_{cont}}$).
- 25 7. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** incluye unas etapas de:
 - determinación del módulo de corriente eficaz (I_{eff}) de las corrientes inyectadas (I_1, I_2, I_3) en las tres fases,
 - comparación del módulo de corriente eficaz (I_{eff}) determinado con un valor predeterminado ($I_{dOPF_{diag}}$),
 - determinación de la pérdida de las tres fases del motor en marcha cuando el módulo de corriente eficaz (I_{eff}) permanece inferior al valor predeterminado ($I_{dOPF_{diag}}$) durante una duración predefinida.
- 30 8. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** incluye unas etapas de:
 - determinación del módulo de la tensión eficaz (V_{eff}) a aplicar al motor (PMSM),
 - comparación del módulo de la tensión eficaz (V_{eff}) con un valor predeterminado (UOPF),
 - determinación de la pérdida de una o varias fases del motor detenido en la parada cuando el módulo de la tensión eficaz (V_{eff}) permanece superior al valor predeterminado (UOPF) durante una duración predefinida.
- 35 9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque** cuando el motor está detenido en la parada, incluye una etapa de determinación de una corriente de flujo (I_d) a partir de las corrientes inyectadas (I_1, I_2, I_3) en cada fase y una etapa de aplicación de esta corriente de flujo con un ángulo predefinido.
10. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** incluye unas etapas de:
 - obtención del ángulo (θ) de referencia giratoria del control,
 - 40 - comparación del módulo de corriente eficaz (I_{eff}) aplicado en cada fase con un valor predeterminado ($I_{OPF_{123}}$),
 - en función de la comparación, asignación o no, del ángulo de referencia giratoria a cada uno de los ángulos ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) de las corrientes (I_1, I_2, I_3) inyectadas en las diferentes fases del motor,
 - estudio de la variación de cada uno de los ángulos ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) en el transcurso del tiempo y determinación de la pérdida de una fase del motor en marcha en función de este estudio.
- 45 11. Variador de velocidad (1) adecuado para implementar un control funcionando en bucle cerrado para controlar un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes (PMSM), siendo adecuado dicho variador para implementar el procedimiento definido en una de las reivindicaciones 1 a 10.

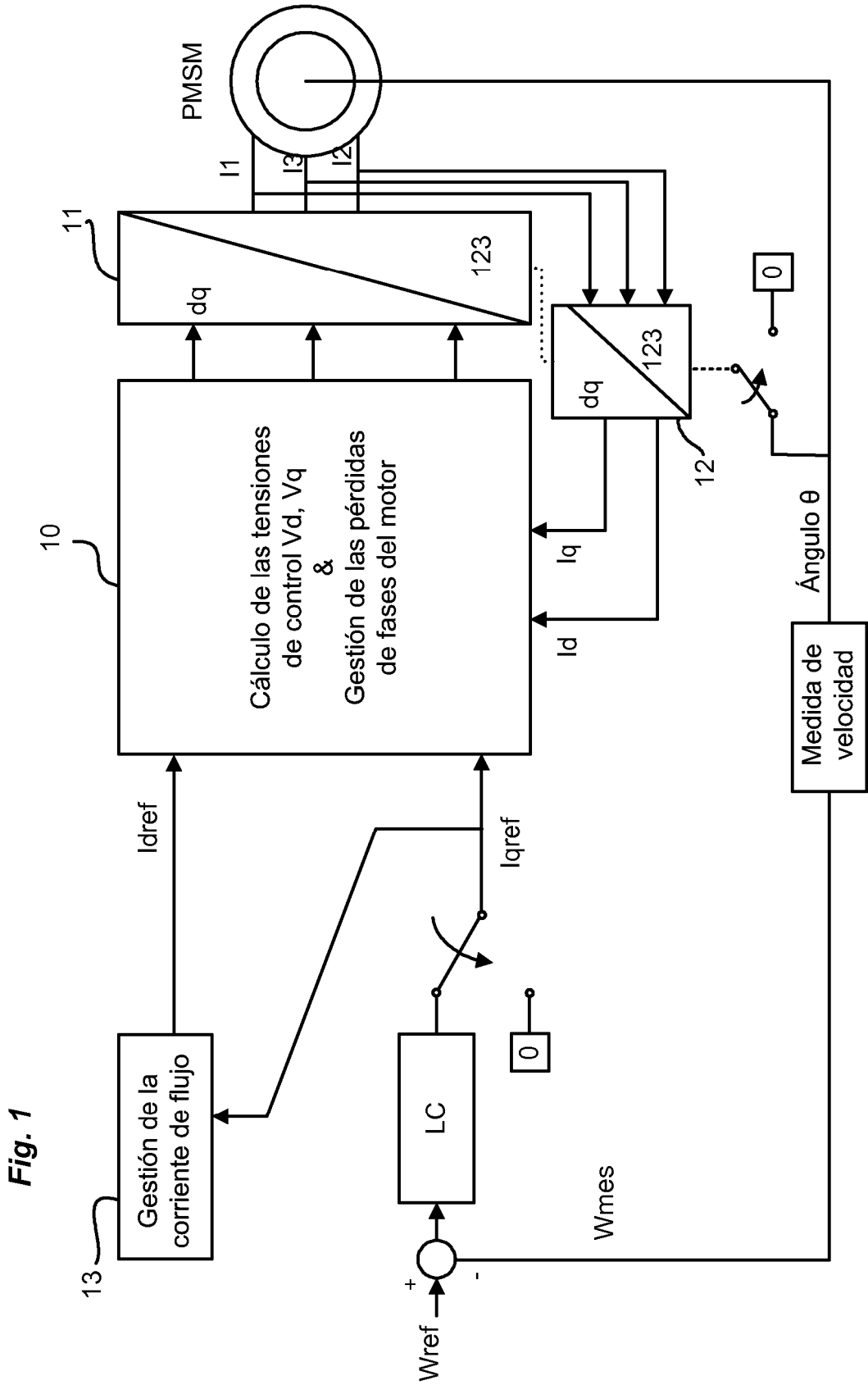


Fig. 1

Fig. 2

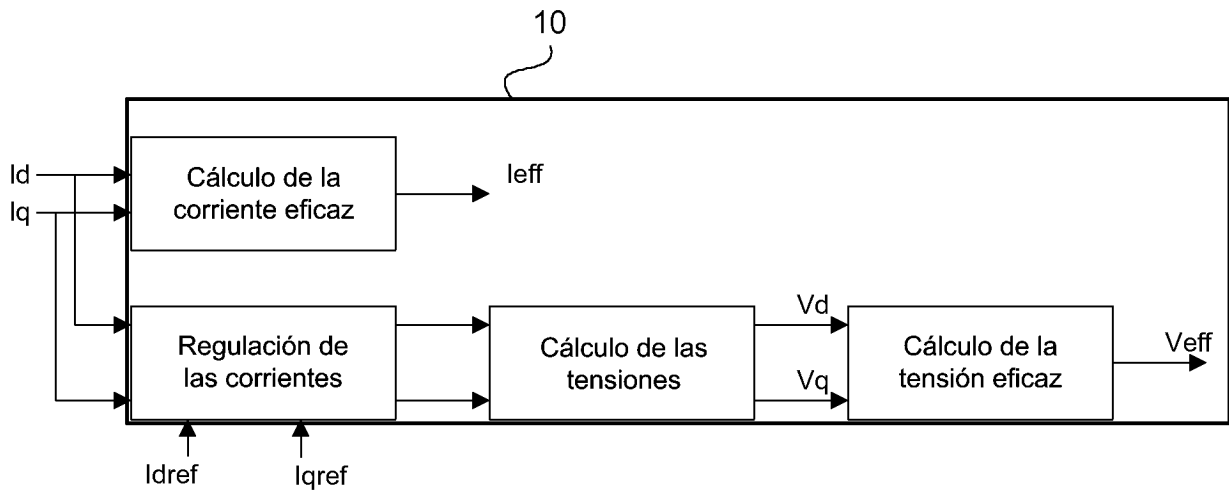


Fig. 3

