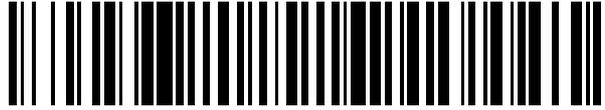


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 820 023**

51 Int. Cl.:

H02P 21/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2015 PCT/CN2015/098458**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17107105**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2015 E 15911104 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020 EP 3396851**

54 Título: **Método y aparato para la estimación en línea de la posición inicial del motor de imán permanente de superficie**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.04.2021

73 Titular/es:

**ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)
Postfach 30 02 20
70442 Stuttgart, DE**

72 Inventor/es:

**MAO, YONGLE;
ZHANG, WEI y
ZANG, XIAOYUN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 820 023 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

Método y aparato para la estimación en línea de la posición inicial del motor de imán permanente de superficie

5 Campo técnico

Las realizaciones de la presente invención se refieren al campo de control de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes, en particular, a un método para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad, y un aparato para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad.

Técnica anterior

15 Para accionar una máquina eléctrica sincrónica de imán permanente de superficie (SPMSM/SPM: Motor Sincrónico de Imán Permanente de Superficie), es necesario adquirir la posición del rotor a fin de realizar el control de vectores (FOC: Control Orientado al Campo). Sin un sensor de posición de rotor, la posición del rotor se puede estimar extrayendo información de posición de las corrientes de fase medidas. Cuando la máquina eléctrica sincrónica está funcionando a velocidad cero o a baja velocidad (generalmente el 10 % de la velocidad nominal), la emf posterior es muy pequeña porque la velocidad también es muy pequeña. En tal situación, generalmente se utiliza un método de inyección de tensión pulsante de alta frecuencia (HFPVI) para extraer información de la posición del rotor.

25 En principio, el método HFPVI solamente sigue la posición de un polo saliente del rotor; esta posición no incluye la polaridad de la posición del rotor. Si la polaridad estimada de la posición del rotor no es precisa, entonces el par electromagnético será opuesto al par de referencia y esto provocará una falla en el control del polo. Un método anterior para estimar la polaridad de la posición del rotor es inyectar pulsos de tensión desde las direcciones positiva y negativa del eje d, respectivamente, y determinar la polaridad del rotor de acuerdo con una diferencia de amplitud de corriente medida. Sin embargo, el método requiere la inyección de señales de tensión al menos dos veces, y se debe consumir mucho tiempo (del orden de cientos de milisegundos) antes de que se determine la polaridad del rotor; además, el método debe determinar la polaridad del rotor cuando el polo está en un estado estacionario. Por lo tanto, tal método es un método fuera de línea y, por lo tanto, no puede usarse para arrancar una máquina eléctrica que tenga una cierta velocidad inicial.

35 El IEEE publicación "A rotor initial position estimation method for sensorless control of SPMSM" por Liu Bing; Zhou Bo; Wei Jiadan; Liu Haidong; Li Jie; Wang Long, 29.10.2014 divulga el método de estimación de la posición inicial del rotor basado en el segundo armónico filtrado en paso de banda de la respuesta de corriente del eje d, la corriente del eje d se filtra en paso de banda para generar el segundo armónico que se multiplica por un coseno, bajo paso filtrado y determinada la polaridad.

40 Contenido de la invención

45 A fin de realizar la determinación de la posición del rotor en línea, en particular, la determinación de la posición del rotor de una máquina eléctrica que tiene una cierta velocidad, se proporciona un método innovador de acuerdo con la presente invención; el método es un método en línea y se puede utilizar en una máquina eléctrica que se pone en marcha a velocidad cero o a una primera baja velocidad. El método se realiza sobre la base de un segundo armónico de una corriente de alta frecuencia en un eje d. El método puede compensar los efectos de la impedancia del estator y el retardo PWM y, por lo tanto, puede maximizar la corriente portadora del error de posición del rotor y la relación señal/ruido de la corriente portadora de la posición del rotor. Por tanto, se puede mejorar la precisión de la estimación de la posición del rotor cuando está en un estado estacionario o en un estado de baja velocidad.

50 De acuerdo con la presente invención, se propone un método para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o a una primera velocidad, el método comprende:

55 inyectar una señal de tensión pulsante de alta frecuencia;

adquirir una señal de corriente de alta frecuencia del eje d que responde a la señal de tensión pulsante de alta frecuencia; y

60 estimar una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes sobre la base de un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d.

65 De acuerdo con la presente invención, el uso innovador está hecha de la segunda armónica de la señal de corriente de alta frecuencia de eje d para estimar la posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes, de modo que la posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes se puede estimar con precisión incluso en los casos en que la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes tenga una cierta

velocidad inicial, por ejemplo, la primera velocidad, realizando así una estimación en línea de la posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

5 En una realización de la presente invención, la señal de tensión pulsante de alta frecuencia se somete a compensación de fase, con el fin de compensar la impedancia del estator y el pulso de retardo de modulación de anchura. A través de dicha compensación de fase, se pueden compensar la impedancia del estator y el retardo de modulación de ancho de pulso, y de ese modo se puede aumentar la precisión de la posición inicial estimada de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

10 En una realización de la presente invención, la primera velocidad no excede del 10 % de una velocidad de rotación nominal de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

15 De acuerdo con la presente invención, la posición inicial comprende una posición de polos salientes del rotor y una polaridad de posición del rotor. De esta manera, el método de acuerdo con la presente invención puede realizar la estimación de una posición inicial, que incluye una posición del polo saliente del rotor y una polaridad de la posición del rotor, inyectando una única señal de tensión pulsante de alta frecuencia, por lo que no solo puede reducir el tiempo necesario para estimar la posición inicial y mejorar el rendimiento del sistema, pero también puede adquirir adicionalmente información de polaridad de posición del rotor, proporcionando así información necesaria y útil para el control vectorial posterior.

20 De acuerdo con la presente invención, la etapa de estimación de una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes sobre la base de un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d comprende, además:

25 convertir la señal de corriente de alta de frecuencia del eje d a un sistema de coordenadas d-q para obtener un primer componente y un segundo componente;

30 someter el primer componente a filtrado de paso de banda, procesamiento sinusoidal, filtrado de paso bajo y observación utilizando un circuito de bucle bloqueado en fase u observador Luenberger, para obtener una posición de polo saliente del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes; y

35 someter el segundo componente a filtrado de paso de banda, procesamiento de coseno, filtrado de paso bajo y determinación de polaridad para obtener una polaridad de posición del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

40 Los expertos en la técnica deberían entender que el método de acuerdo con la presente invención comprende, pero no está limitado a etapas de procesamiento anteriores, y la estimación de la posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes por medio de la del segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d también podría realizarse por otros medios técnicos adecuados.

Además, de acuerdo con la presente invención, se proporciona también un aparato para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o a una primera velocidad, el aparato comprende:

45 una unidad de inyección de tensión, configurada para inyectar una señal de tensión pulsante de alta frecuencia;

una unidad de adquisición de corriente, configurada para adquirir una señal de corriente de alta frecuencia del eje d que responde a la señal de tensión pulsante de alta frecuencia; y

50 una unidad de análisis, configurada para analizar un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d, para estimar una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

55 En una realización de la presente invención, la unidad de inyección de tensión está configurada además para someter la señal de tensión pulsante de alta frecuencia para la compensación de fase, con el fin de compensar la impedancia del estator y el pulso de retardo de modulación de anchura.

En una realización de la presente invención, la primera velocidad no excede el 10 % de una velocidad de rotación nominal de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

60 De acuerdo con la presente invención, la posición inicial comprende una posición de polos salientes del rotor y una polaridad de la posición del rotor.

De acuerdo con la presente invención, la unidad de análisis comprende, además:

una unidad de conversión del sistema de coordenadas, configurado para convertir la señal de corriente de alta frecuencia del eje d a un sistema de coordenadas d-q con el fin de obtener un primer componente y un segundo componente;

5 una primera unidad de procesamiento, que comprende un primer filtro de paso de banda, una unidad de procesamiento sinusoidal, un primer filtro de paso bajo y un observador Luenberger o un circuito de bucle de bloqueo de fase, y que está configurado para someter el primer componente a un filtrado de paso de banda, procesamiento sinusoidal, filtrado de paso bajo y observación utilizando el observador Luenberger o el circuito de bucle de bloqueo de fase, para obtener una posición del polo saliente del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes; y

10 una segunda unidad de procesamiento, que comprende un segundo filtro de paso de banda, una unidad de procesamiento de coseno, un segundo filtro de paso bajo y un circuito de determinación de polaridad, y está configurada para someter el segundo componente a filtrado de paso de banda, procesamiento de coseno, filtrado de paso bajo y determinación de la polaridad para obtener una polaridad de la posición del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

15 En una realización de la presente invención, el segundo filtro de paso-bajo es un filtro auto-adaptativo con retardo cero, con el fin de compensar un desplazamiento de fase introducido por el segundo filtro de paso-bajo.

20 En comparación con un método existente, el método de la presente invención tiene principalmente las siguientes ventajas:

25 En primer lugar, el método realiza la determinación de polaridad de posición del rotor en línea, y se puede realizar la determinación de la posición de polaridad cuando se realiza a partir de una baja velocidad, por lo que tiene una ventaja comparativa significativa sobre un método fuera de línea en la técnica anterior que solo se puede usar cuando el rotor está en un estado estacionario.

30 En segundo lugar, en comparación con un método convencional fuera de línea, el método de la presente invención puede acortar el tiempo necesario para determinar la posición del rotor; el tiempo necesario en el método es sólo de aproximadamente 20 a 40 milisegundos, y al mismo tiempo puede compensar la impedancia del estator y el retardo PWM y, por lo tanto, mejorar la precisión de la estimación de la posición del rotor.

Descripción de los dibujos adjuntos

35 La siguiente descripción detallada de realizaciones no limitativas con referencia a los dibujos que se acompañan hará más evidente otras características, objetivos y ventajas de la presente invención.

40 La Fig. 1 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de un método 100 de acuerdo con la presente invención para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad;

45 La Fig. 2 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de un aparato 200 de acuerdo con la presente invención para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad; y

La Fig. 3 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de una unidad 230 de análisis de acuerdo con la presente invención.

50 En todas las figuras, las etiquetas de referencia idénticas o similares representan aparatos idénticos o similares (módulos) o etapas.

Realizaciones particulares

55 En la descripción específica de las realizaciones preferidas a continuación, se hará referencia a los dibujos adjuntos, que hace parte de la presente invención. Los dibujos adjuntos muestran, a modo de demostración, realizaciones específicas capaces de realizar la presente invención. Las realizaciones demostrativas no pretenden agotar todas las realizaciones de acuerdo con la presente invención. Puede entenderse que se pueden utilizar otras realizaciones con la condición de que no se salga del alcance de la presente invención y se puedan realizar modificaciones estructurales o lógicas. Por tanto, la siguiente descripción específica no es limitante, y el alcance de la presente invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

65 En teoría, la relación entre el flujo magnético del eje d y la corriente del eje d es como sigue: cuando la corriente de eje d es positiva, el flujo magnético de reacción de armadura del eje d está en la misma dirección que el flujo magnético de imán permanente, y esto causará una mayor saturación del circuito magnético del eje d, y hará que la inductancia del eje d caiga; en consecuencia, cuando la corriente del eje d sea negativa, el flujo magnético de la reacción de la armadura del eje d está en la dirección opuesta al flujo magnético del imán permanente, y esto hará que el nivel de

saturación del circuito magnético del eje d caiga y provoque el aumento de la inductancia del eje d. Por lo tanto, el polo N y el polo S del rotor se pueden distinguir mediante el efecto de saturación de inductancia anterior.

5 Se puede observar a partir de la discusión anterior que la corriente de eje d es una función del flujo magnético del eje d, y una serie Taylor de segundo orden obtenida al omitir un resto de Lagrange de la función en la posición $(\psi_m, 0)$ es como sigue:

$$i_d(\psi_d) = R_{d0}(\psi_d - \psi_m) + R_d'(\psi_d - \psi_m)^2 + R_d''(\psi_d - \psi_m)^3 \quad (1)$$

10 donde $R_{d0} = \frac{1}{L_{d0}}$, $R_d' = \left. \frac{di_d}{d\psi_d} \right|_{\psi_d = \psi_m}$, y $R_d'' = \left. \frac{d^2i_d}{d\psi_d^2} \right|_{\psi_d = \psi_m}$.

Si la siguiente señal de tensión pulsante de alta frecuencia se inyecta en un sistema de coordenadas d-q estimado: a continuación,

$$v_{\hat{d}\hat{q}h} = V_c \begin{pmatrix} \cos \omega_c t \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

15

teniendo en cuenta impedancia de estator y el retardo de PWM, una corriente de respuesta de alta frecuencia se puede expresar como:

$$\hat{i}_{\hat{d}\hat{q}h} = \frac{-V_c \cos(\omega_c t + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3)}{|z_{dh0}| |z_{qh0}|} (z_{\text{on}} + z_{\text{dif}} e^{j2\tilde{\theta}_e}) + \frac{V_c^2 R_{dh}' R_{dh0}^2}{2 |z_{dh0}|^2} \sin^2(\omega_c t + \phi_1 + \phi_3) \cos^2(\tilde{\theta}_e) e^{j\tilde{\theta}_e} \quad (3)$$

20

donde $z_{dh} = R_s + j\omega_h L_d$, $z_{qh} = R_s + j\omega_h L_q$, y

25 $\phi_1 = \arctan(R_s/\omega_h L_d)$, $\phi_2 = \arctan(R_s/\omega_h L_q)$, ϕ_3 es cambio de fase causado por el retraso de PWM.

La posición del polo saliente del rotor se puede extraer mediante el primer término en la fórmula (3) anterior, y la siguiente información se puede extraer del segundo término en la fórmula (3): si la posición del rotor tiende hacia el polo N o el polo S. El método de extracción específico se describirá en detalle en la siguiente sección.

30 La siguiente señal de error de posición del rotor se puede obtener por un procedimiento correspondiente:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\theta &= \frac{V_c \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)}{|z_{dh0}| |z_{qh0}|} (\omega_h L_{\text{dif}} \sin 2\tilde{\theta}_e) \\ &= |\varepsilon_\theta|_{\text{máx}} \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \sin 2\tilde{\theta}_e \end{aligned} \quad (4)$$

$$|\varepsilon_\theta|_{\text{máx}} = \frac{V_c \omega_h L_{\text{dif}}}{|z_{dh0}| |z_{qh0}|}$$

35 Donde

Una señal de error de polaridad de la posición del rotor es:

$$\varepsilon_{\text{pol}} = -\frac{V_c^2 R'_{\text{dh}} L_{\text{dh0}}^2}{4 |z_{\text{dh0}}|^2} \cos(2\phi_1 + \phi_3) \cos^2(\tilde{\theta}_e) \cos(\tilde{\theta}_e)$$

(5)

Si un error de estimación de la posición del rotor es $\delta\theta_e$ o $\delta\theta_e + \pi$, entonces la amplitud de una señal portadora de polaridad es:

5

$$\begin{aligned} |\varepsilon_{\text{pol}}| &= \frac{V_c^2 R'_{\text{dh}} L_{\text{dh0}}^2}{4 |z_{\text{dh0}}|^2} \cos(2\phi_1 + \phi_3) \cos^3 \delta\theta_e \\ &= |\varepsilon_{\text{pol}}|_{\text{máx}} \cos(2\phi_1 + \phi_3) \cos^3 \delta\theta_e \end{aligned}$$

(6)

$$|\varepsilon_{\text{pol}}|_{\text{máx}} = \frac{V_c^2 R'_{\text{dh}} L_{\text{dh0}}^2}{4 |z_{\text{dh0}}|^2}$$

Donde

10 Puede verse a partir de las fórmulas (4) y (6) por encima de que una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes puede ser estimada por el método de acuerdo con la presente invención para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en estado estacionario o en una primera velocidad; específicamente, la Fig. 1 muestra un diagrama 100 de flujo de un método para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad, y puede verse en la Fig. 1 que el método comprende las siguientes etapas:

15

en primer lugar, se inyectará una señal de tensión pulsante de alta frecuencia en la etapa 110;

20

luego, en la siguiente etapa 120, se adquirirá una señal de corriente de alta frecuencia del eje d que responde a la señal de tensión pulsante de alta frecuencia; y

finalmente, en la etapa 130, una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes se estima sobre la base de un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d.

25

Opcionalmente o adicionalmente, la primera velocidad no exceda del 10 % de una velocidad de rotación nominal de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

30

En la formulación anterior, la posición inicial puede comprender una posición de polos salientes del rotor y una polaridad de posición del rotor. De esta manera, el método de acuerdo con la presente invención puede realizar la estimación de una posición inicial, que incluye una posición del polo saliente del rotor y una polaridad de la posición del rotor, inyectando una única señal de tensión pulsante de alta frecuencia, por lo que no solo puede reducir el tiempo necesario para estimar la posición inicial y mejorar el rendimiento del sistema, pero también puede adquirir adicionalmente información de polaridad de posición del rotor, proporcionando así información necesaria y útil para el control vectorial posterior.

35

La etapa 130 anterior, en el que se estima una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes sobre la base de un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d, puede además comprender:

40

convertir la señal de corriente de alta frecuencia del eje d a un sistema de coordenadas d-q de a para obtener un primer componente y un segundo componente;

45

someter el primer componente a filtrado de paso de banda, procesamiento sinusoidal, filtrado de paso bajo y observación utilizando un observador LO de Luenberger o un circuito de bucle de bloqueo de fase para obtener una posición del polo saliente del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes; y

someter el segundo componente a filtrado de paso de banda, procesamiento de coseno, filtrado de paso bajo y determinación de polaridad para obtener una polaridad de posición del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

Las etapas de implementación del método de acuerdo con la presente invención se expondrán ahora adicionalmente con referencia al diagrama 200 de bloques del aparato de la Fig. 2 y el diagrama 300 de bloques detallado del aparato de análisis relevante de la Fig. 3.

Específicamente, fig. 2 muestra un diagrama de bloques de un aparato 200 de acuerdo con la presente invención para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad, y la Fig. 3 muestra un diagrama de bloques de una unidad 230 de análisis de acuerdo con la presente invención.

Puede verse en la Fig. 2 que el aparato 200 de acuerdo con la presente invención para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad comprende las siguientes partes:

una unidad 210 de inyección de tensión, configurada para inyectar una señal de tensión pulsante de alta frecuencia;

una unidad 220 de adquisición de corriente, configurada para adquirir una señal de corriente de alta frecuencia del eje d que responde a la señal de tensión pulsante de alta frecuencia; y

una unidad 230 de análisis, configurada para analizar un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d, para estimar una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

Opcionalmente o adicionalmente, la primera velocidad no exceda del 10 % de una velocidad de rotación nominal de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes. En una realización de la presente invención, la posición inicial comprende una posición del polo saliente del rotor y una polaridad de la posición del rotor.

Más específicamente, la unidad 230 de análisis comprende, además:

una unidad 232 de conversión del sistema de coordenadas, configurada para convertir la señal de corriente de alta frecuencia del eje d a un sistema de coordenadas d-q con el fin de obtener un primer componente y un segundo componente;

una primera unidad 234 de procesamiento, que comprende un primer filtro de paso de banda, una unidad de procesamiento sinusoidal, un primer filtro de paso bajo y un observador de Luenberger o un circuito de bucle de bloqueo de fase, y que está configurado para someter el primer componente a un filtrado de paso de banda, procesamiento sinusoidal, filtrado de paso bajo y observación utilizando el observador de Luenberger o el circuito de bucle de bloqueo de fase, para obtener una posición del polo saliente del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes; y

una segunda unidad 236 de procesamiento, que comprende un segundo filtro de paso de banda, una unidad de procesamiento de coseno, un segundo filtro de paso bajo y un circuito de determinación de polaridad, y está configurado para someter el segundo componente a filtrado de paso de banda, procesamiento de coseno, filtrado de paso bajo y determinación de la polaridad para obtener una polaridad de posición del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes. Preferiblemente, el segundo filtro de paso bajo es un filtro autoadaptativo con retardo cero, para compensar un cambio de fase introducido por el segundo filtro de paso bajo.

Sin embargo, el retardo de la impedancia del estator y PWM (expresado como ϕ_1 y ϕ_3 , respectivamente, en las fórmulas (4) y (6)) reducirá la amplitud de error de posición y amplitud de la señal portadora de polaridad, y con ello reducir la relación señal-ruido. Para maximizar la relación señal-ruido de una señal portadora de posición y una señal portadora de polaridad, es necesario compensar la impedancia del estator y el retardo PWM. Preferiblemente, la señal de tensión pulsante de alta frecuencia puede someterse a compensación de fase, para compensar la impedancia del estator y el retardo de modulación de ancho de pulso. Entonces, la señal de tensión pulsante de alta frecuencia inyectada debe ser:

$$v_{\hat{d}\hat{q}h} = V_c \begin{pmatrix} \cos(\omega_c t - \phi_1 - \phi_2 - \phi_3) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Como resultado de la señal de tensión pulsante de alta frecuencia inyectada que se somete a la compensación de fase, la amplitud de error de posición y la amplitud de señal de portador de polaridad obtenida debe ser correspondientemente:

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{V_c}{|z_{dh0}| |z_{qh0}|} (\omega_h L_{dif} \sin 2\tilde{\theta}_e) = |\varepsilon_{\theta}|_{\max} \sin 2\tilde{\theta}_e \quad (8)$$

$$|\varepsilon_{pol}| = \frac{V_c^2}{4} \frac{R'_{dh} L_{dh0}^2}{|z_{dh0}|^2} \cos^3 \delta\theta'_e \approx |\varepsilon_{pol}|_{\max}$$

y (9)

- 5 Puede verse a partir de las fórmulas (8) y (9) anteriores que la impedancia del estator y el retardo de PWM (ϕ_1 y ϕ_3) ambos se han ya eliminado en la amplitud de error de posición y la amplitud de la señal portadora de polaridad anterior. Por tanto, el error de estimación de la posición $\delta\theta'_e$ del rotor tiende sustancialmente hacia cero y se maximiza la relación señal/ruido de la señal portadora de la posición del rotor. En otras palabras, a través de dicha compensación de fase, se puede compensar la impedancia del estator y el retardo de modulación de ancho de pulso, y con ello se
- 10 puede aumentar la precisión de la posición inicial estimada de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.

REIVINDICACIONES

1. Método (100) para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad, el método (100) comprende:
- 5 inyectar (110) una señal de tensión pulsante de alta frecuencia;
- adquirir (120) una señal de corriente de alta frecuencia del eje d que responde a la señal de tensión pulsante de alta frecuencia; y
- 10 estimar (130) una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes sobre la base de un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d, donde la posición inicial comprende una posición del polo saliente del rotor y una polaridad de la posición del rotor, y en el que la etapa de estimar (130) una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes sobre la base de un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d comprende además:
- 15 convertir la señal de corriente de alta frecuencia del eje d en un sistema de coordenadas d-q para obtener un primer componente (i_q) y un segundo componente (i_d); y
- 20 someter el segundo componente (i_d) a filtrado de paso de banda, procesamiento de coseno, filtrado de paso bajo y determinación de polaridad para obtener una polaridad de posición del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes, caracterizada por
- someter el primer componente (i_q) para el filtrado de paso de banda, el procesamiento sinusoidal, el filtrado de paso bajo y la observación mediante un observador de Luenberger (LO) o circuito de bucle de bloqueo de fase, para obtener una posición del polo saliente del rotor de la máquina eléctrica superficial de imán permanente.
- 25
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la señal de tensión pulsante de alta frecuencia se somete a compensación de fase, para compensar la impedancia del estator y el retardo de modulación de ancho de pulso.
- 30
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la primera velocidad no supera el 10 % de la velocidad de rotación nominal de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.
- 35
4. Aparato (200) para la estimación en línea de una posición inicial de una máquina eléctrica superficial de imanes permanentes en un estado estacionario o en una primera velocidad, el aparato (200) comprende:
- una unidad (210) de inyección de tensión, configurada para inyectar una señal de tensión pulsante de alta frecuencia;
- una unidad (220) de adquisición de corriente, configurada para adquirir una señal de corriente de alta frecuencia del eje d que responde a la señal de tensión pulsante de alta frecuencia; y
- 40
- una unidad (230) de análisis, configurada para analizar un segundo armónico de la señal de corriente de alta frecuencia del eje d, para estimar una posición inicial de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes, en el que la posición inicial comprende una posición del polo saliente del rotor y una polaridad de posición del rotor, en la que la unidad (230) de análisis comprende, además:
- 45
- una unidad de conversión de sistema de coordenadas (232), configurada para convertir la señal de corriente de alta frecuencia del eje d en un sistema de coordenadas d-q para obtener un primer componente (i_q) y un segundo componente (i_d); y
- 50
- una segunda unidad (236) de procesamiento, que comprende un segundo filtro de paso de banda, una unidad de procesamiento de coseno, un segundo filtro de paso bajo y un circuito de determinación de polaridad, y que está configurada para someter el segundo componente (i_d) a un filtrado de paso de banda, procesamiento de coseno, filtrado de paso bajo y determinación de polaridad para obtener una polaridad de posición del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes, caracterizada por
- 55
- una primera unidad (234) de procesamiento, que comprende un primer filtro de paso de banda, una unidad de procesamiento sinusoidal, un primer filtro de paso bajo y un observador de Luenberger o un circuito de bucle de bloqueo de fase, y que se configura para someter el primer componente (i_q) a filtrado de paso de banda, procesamiento sinusoidal, filtrado de paso bajo y observación utilizando el observador de Luenberger o circuito de bucle de bloqueo de fase, para obtener una posición del polo saliente del rotor de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.
- 60
5. Aparato (200) de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la unidad de inyección de tensión está configurada además para someter la señal de tensión pulsante de alta frecuencia a compensación de fase, para compensar la impedancia del estator y el retardo de modulación de ancho de pulso.
- 65

6. Aparato (200) de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en el que la primera velocidad no supera el 10 % de la velocidad de rotación nominal de la máquina eléctrica superficial de imanes permanentes.
- 5 7. Aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el segundo filtro de paso bajo es un filtro autoadaptativo con retardo cero.

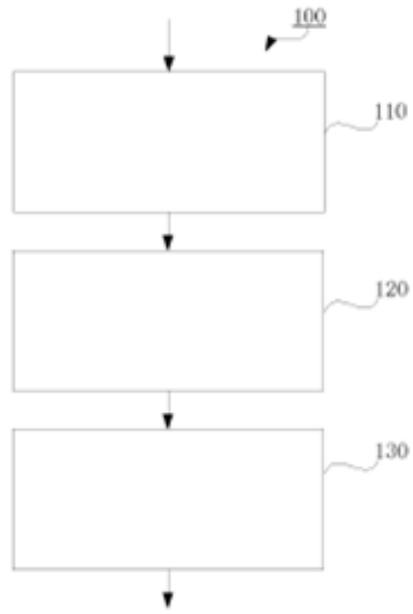


Fig. 1

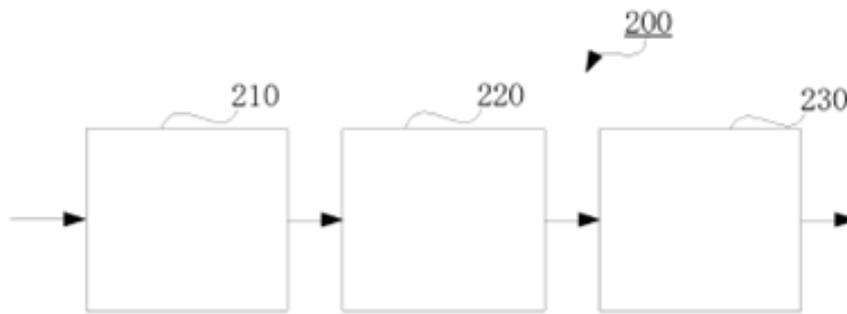


Fig. 2

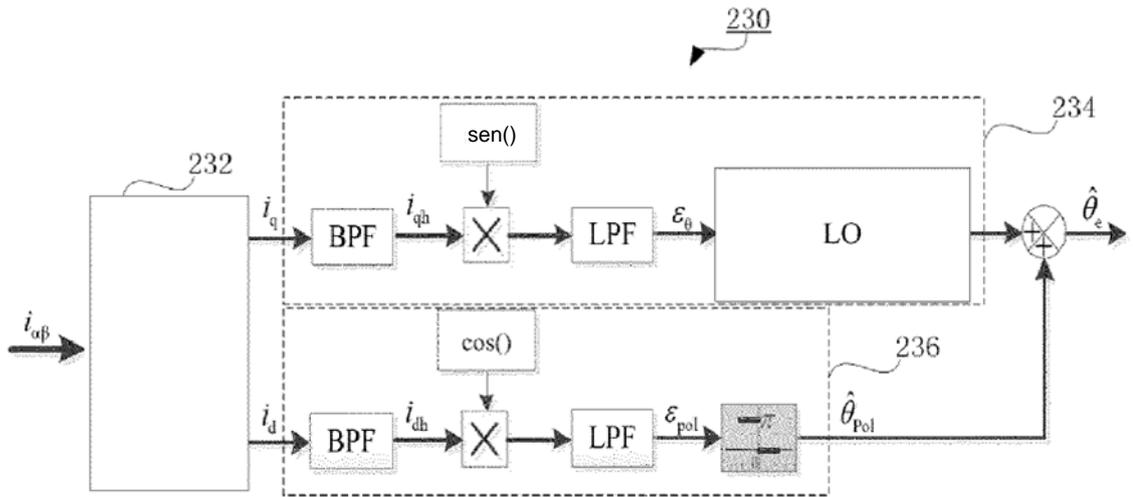


Fig. 3