

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 124**

51 Int. Cl.:
H02P 6/08 (2006.01)
H02P 6/10 (2006.01)
G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08164022 .9**
96 Fecha de presentación: **10.09.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2164164**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.03.2010**

54 Título: **Procedimiento y sistema de control para un motor eléctrico sin escobillas**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.04.2012

73 Titular/es:
EBM-PAPST MULFINGEN GMBH & CO. KG
BACHMÜHLE 2
74673 MULFINGEN, DE

72 Inventor/es:
Wystup, Ralph;
König, Daniel y
Baun, Martin

74 Agente/Representante:
Isern Jara, Jorge

ES 2 379 124 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 y sistema de control para un motor eléctrico sin escobillas

La presente invención se refiere, primeramente, según el preámbulo de la reivindicación 1, a un procedimiento para el control de un motor eléctrico sin escobillas, particularmente trifásico, conmutado electrónicamente.

5 Además, la invención se refiere también a un sistema de control (dispositivo de control) correspondiente que trabaja, en particular, de acuerdo con el procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 5.

10 En motores eléctricos sin escobillas, particularmente trifásicos, conmutados electrónicamente, los denominados motores EC, es conocido generar de una tensión continua de circuito intermedio corrientes de fase para fases de arrollamiento del motor por medio de un inversor MDP controlado (MDP = **M**odulación de **D**uración de **P**ulsos), pudiendo ajustarse también la velocidad de rotación del motor por medio de una variación de los ciclos de trabajo del control MDP. Usualmente, la tensión continua de circuito intermedio es generada mediante la rectificación de una tensión alterna de alimentación monofásica o, frecuentemente, trifásica, generando, en primer lugar, una tensión continua pulsante fuertemente oscilante por medio de un rectificador en puente. En el caso de una tensión de alimentación trifásica con la frecuencia habitual de 50 Hz, la tensión rectificadora pulsa con una frecuencia de pulsos de 300 Hz. Por eso, en realidad es necesario un alisado por medio de al menos un condensador de alisado y, dado el caso, un inductancia de filtro adicional. En realidad, debido a la capacitancia relativamente grande necesaria se usan, habitualmente, condensadores electrolíticos que tienen, sin embargo, en la práctica algunas desventajas, concretamente, en particular, un gran volumen y una corta vida útil.

20 Por este motivo, existe hoy día la tendencia creciente de prescindir completamente de condensadores de alisado o al menos de los condensadores electrolíticos, usándose en el segundo caso condensadores de láminas con menor capacitancia de mayor vida útil. En este caso se habla, frecuentemente, de un "circuito intermedio delgado". Sin embargo, en esto se presenta la desventaja de que el rizado remanente se transfiere al par motor como variable de perturbación. Sin embargo, un par pulsante (rizado de par) produce una gran generación de ruido que, en particular en accionamientos de ventiladores, puede ser muy molesta.

25 Para, a ser posible, mantener el par constante pese a la tensión continua ondulatoria del circuito intermedio afectada por perturbaciones, se conocen algunas posibilidades.

30 Es así que el par puede mantenerse constante mediante una regulación de la corriente. La desventaja es, en este caso, el hecho de que para ello deben detectarse las corrientes de motor y que una regulación de corriente demasiado rápida puede excitar a oscilar a un sistema compuesto de inductancia de alimentación y condensador de circuito intermedio. El resultado sería una pulsación aún mayor de la tensión de circuito intermedio.

35 El documento DE 103 32 381 A1 o el correspondiente EP 1 499 008 A2 se refiere a un procedimiento y un sistema de control para la conmutación electrónica de un motor de corriente continua sin escobillas, estando descrita, principalmente, una regulación de corriente en la que las fases de arrollamiento del motor son controladas mediante corrientes de arrollamientos generadas especialmente respecto de su curva temporal, cuyo curso es escogido y especificado de modo que se produzca un par uniforme (constante). Sin embargo, el documento también describe como una alternativa posible que la forma de corriente deseada puede ser conseguida también, en vez de mediante el uso de un regulador de intensidad, sin medición de corriente por medio de una modulación adecuada de la tensión. El inversor conformado de un puente integral compuesto de seis elementos de conmutación electrónicos es alimentado del lado de entrada también por medio de un circuito intermedio de corriente continua, pero en el documento no se menciona nada respecto de la existencia de una variable de perturbación de dicha corriente continua de circuito intermedio y su influencia sobre el par.

45 Además, es conocido usar rectificadores controlados en combinación con el inversor del motor EC (véase, por ejemplo, "Verlustarmer Umrichter ohne Zwischenkreis-Kondensator" de B. Piepenbreier y L. Sack en "Elektronik 2006 N^o 1", páginas 61 a 67). Ello se realiza, concretamente, mediante inversores matriciales especiales con rectificadores controlados. La desventaja de esta disposición –que en principio funciona bien– son los costes extras por los semiconductores controlables adicionales, muy evidentes, particularmente en las grandes series de producción.

50 El documento JP 2000-308205 A describe un motor eléctrico de vehículo que es operado por medio de una red monofásica, estando en el circuito intermedio previsto un condensador de filtro CC para el alisado de la tensión de circuito intermedio. En este caso, se describe que la tensión de circuito intermedio debe ser generada, regulada y mantenida constante mediante un chopper elevador (MDP). Ello contradice el principio de un "circuito intermedio delgado", porque los chopper elevadores deben contener, forzosamente, inductancias y capacitancias para el almacenamiento de energía. Por lo demás, un chopper elevador mismo genera una variable de perturbación, lo que permite la detección y el procesamiento sin almacenamiento.

55 La publicación JP 10-248300 A describe un convertidor de potencia (power converter), previsto, ostensiblemente, para un motor asíncronico, que también es alimentado de una red monofásica, y un condensador de alisado y, consecuentemente, no presenta un circuito intermedio delgado.

La presente invención tiene el objetivo de reducir o, de modo ideal, eliminar de una manera técnicamente conveniente y mediante medios realizables de manera sencilla y económica una influencia adversa de una tensión continua de circuito intermedio, particularmente pulsante, afectada por una variable de perturbación, sobre el par de motor y, de este modo, sobre los ruidos del motor.

5 De acuerdo con la invención, ello se consigue mediante un procedimiento según la reivindicación 1. Un sistema de control apropiado para la aplicación del procedimiento es objeto de la reivindicación 5. Otras configuraciones ventajosas de la invención están contenidas en las reivindicaciones dependientes.

10 Según la invención se realiza, consecuentemente, una compensación de variables de perturbación novedosa y, concretamente, optimizada dinámicamente. En este caso, la variable de perturbación -en el caso de aplicación especial, la tensión continua pulsante de circuito intermedio- es detectada periódicamente y se genera de ello y almacena mediante la inversión o bien el valor inverso una variable de compensación que, a continuación, junto con una señal de salida habitual del regulador de ángulo y velocidad de rotación del sistema de control, pone a disposición de un elemento de ajuste del control MDP, durante al menos un período subsiguiente. De esta manera, se "suprime", prácticamente, la perturbación mediante una adaptación de los ciclos de trabajo MDP.

15 En este caso, en términos de la invención es importante que la variable de compensación sea corregida dinámicamente por medio de un circuito de control, de manera que sea minimizado el rizado de par del motor eléctrico. Para ello, el comportamiento del par es detectado, y la variable de compensación es compensada de tal manera mediante la variación de su posición de fase y/o su amplitud (nivel y o curva de amplitud) en función del comportamiento de par respectivo, que el rizado de par se reduce a un mínimo o, incluso, es eliminado completamente. En este contexto, "dinámicamente" o, más acertadamente "cuasi dinámicamente" significa que la corrección de la variable de compensación se realiza durante el funcionamiento del motor EC cuando es necesaria. Preferentemente, los procesos descritos se repiten cíclicamente, por ejemplo en cada período o en determinados períodos.

25 La invención se basa en el conocimiento de que, por un lado, en una compensación de perturbaciones "normales" sin la correspondiente regulación de corrección dinámica según la invención debería ser conocida la respectiva variable de perturbación y la variable de compensación puesta, en términos de exactitud de fase y amplitud, a disposición del elemento de ajuste MDP en el momento correcto, pero que, por otro lado, en la práctica se producen distorsiones en la amplitud y posición de fases de la variable de compensación. Por lo tanto, la variable de compensación realmente ya no se ajusta a la variable de perturbación real, de modo que también el efecto de una compensación de variable de perturbación sencilla de este tipo sobre el par no puede ser óptimo.

30 Sin embargo, ahora, según la invención se detecta el efecto de la compensación de variable de perturbación respectiva sobre el par y se optimiza, periódicamente, mediante la variación de la variable de compensación. De este modo, pese a la variable de perturbación el rizado de par casi se elimina o al menos se reduce y minimiza ostensiblemente.

35 El procedimiento según la invención también puede ser realizado de una manera sencilla y económica. Para ello es ventajoso si el comportamiento del par es detectado sin sensores, es decir sin sensores de par costosos. Ello se puede realizar, ventajosamente, mediante una evaluación de la corriente de alimentación del motor y detección de una componente espectral de un vector espacial de corriente, comprobándose que la amplitud de la componente espectral es una variable para el rizado de par, de modo que la amplitud de la componente espectral puede ser evaluada como variable real para el rizado de par respectivo y minimizada mediante la compensación de variable de perturbación optimizada dinámicamente. En el caso de una tensión alterna de alimentación trifásica con una frecuencia de 50 Hz se presenta una componente espectral a 300 Hz como componente fundamental de la variable de perturbación. Sin embargo, para la optimización también puede recurrirse, por ejemplo, a una armónica usando ambas variables, por ejemplo, de manera ponderada.

45 Un sistema de control según la invención se compone, primeramente, de los componentes habituales para un control EC, concretamente un rectificador que rectifica una tensión alterna de alimentación a una tensión continua de circuito intermedio, y un inversor conectado aguas abajo controlado mediante un control MDP para la generación de corrientes de motor cuasi sinusoidales para la pulsación de tensión (modulación) respectiva. Según la invención, el sistema de control presenta, además, un dispositivo adicional novedoso para la compensación de variables de perturbación dinámicamente optimizada, de modo que es minimizada el rizado de par del motor eléctrico.

50 A continuación, el invento es explicado en mayor detalle mediante un ejemplo de realización preferente. En este caso, la única figura de dibujo muestra un diagrama esquemático simplificado de conexiones de un sistema de control según la invención.

55 A modo de ejemplo, se muestra de manera muy esquemática un motor eléctrico 1 trifásico sin colectores con un estator 2 y un rotor 4 de imanes permanentes. Puede ser cualquier motor de inducido interior o exterior. El estator 2 presenta tres fases de arrollamiento L1, L2 y L3 (no mostradas en detalle), que pueden estar, opcionalmente, dispuestas en conexión en estrella o en conexión en triángulo. Las fases de arrollamiento L1, L2, L3 son controladas para el accionamiento giratorio del rotor 4 para la generación de un campo magnético giratorio en función de la

5 posición del rotor (posición de giro, ángulo φ). Para ello se ha previsto un inversor 6 controlado. Dicho inversor 6 está conformado como etapa de salida de puente (puente integral) realizada de seis elementos semiconductores de potencia de conexión controlados que, para la conmutación del motor eléctrico y para el ajuste de la velocidad de rotación n del motor, son controlados de tal modo mediante un control MDP 8 que se modulan tensiones de fase de motor $u(t)$ L1, $u(t)$ L2 y $u(t)$ L3) cuasi sinusoidales. Este tipo de control de motor es conocido y no requiere de ninguna explicación adicional. Solamente debe mencionarse que, mediante una detección de la posición de giro del rotor, que puede ser realizada indirectamente, por ejemplo, por medio de sensores Hall o totalmente sin sensores, se determina el respectivo ángulo de giro φ del rotor y, junto con la respectiva velocidad de rotación n , es entregado a un regulador de ángulo y velocidad de rotación 10. Adicionalmente, en una unidad de cálculo 12 se calcula el ángulo θ entre la tensión de rotor y corriente de fase y también se suministra al regulador 10. Se le suministra a la unidad de cálculo 12 el ángulo φ y un valor de energía i para el cálculo de los pasos por cero. El regulador de ángulo y velocidad de rotación 10 determina una señal de ajuste S para el control MDP 8.

15 El inversor 6 es alimentado del lado de entrada de una tensión continua de circuito intermedio U_z . Esta tensión continua de circuito intermedio U_z se obtiene de una tensión alterna de alimentación U_N , en particular trifásica, por medio de un circuito rectificador 14. En una frecuencia de alimentación habitual de 50 Hz se genera, por lo tanto, la tensión continua de circuito intermedio U_z como tensión continua pulsante con una frecuencia de pulsos de 300 Hz. Por este motivo, para el alisado se conecta al circuito rectificador 10 en paralelo, de manera habitual, un condensador de circuito intermedio C_z , presentando dicho condensador de circuito intermedio en realidad una capacitancia relativamente grande de, por ejemplo, 300 μ F. Sin embargo, como ello sólo podría realizarse por medio de un condensador electrolítico se usa en su lugar un condensador de láminas más sencillo más pequeño con una capacitancia de, por ejemplo, sólo 30 μ F. Consecuentemente, la tensión continua de circuito intermedio U_z está afectada por una variable de perturbación pulsante.

25 Ahora, según la invención, dicha variable de perturbación es compensada, regulada dinámicamente, de tal modo en función del par motor que la influencia de la variable de perturbación sobre el par se torne minimizada. Como resultado se minimiza, de este modo, un rizado de par del motor eléctrico 1.

30 Para ello, el sistema de control según la invención presenta un dispositivo adicional 16 que, en "términos de hardware", puede estar realizado como módulo, pero que, en particular, puede estar implementado como software en la regulación de motor existente. Por medio de una entrada de tensión se le suministra al dispositivo adicional 16 la tensión continua de circuito intermedio U_z afectada por la variable de perturbación. Además, con una unidad de medición 18 se determina un valor de referencia i de las corrientes de fase, en particular como corriente sumada. También este valor de energía i es suministrado al dispositivo adicional 16 por medio de una entrada de corriente. Entonces, el dispositivo adicional 16 produce una variable de compensación K corregida dinámicamente a base del comportamiento de par del motor 1, mediante la cual en un elemento multiplicador 20 se carga la variable de ajuste S real para el control MDP 8, para modificar, correspondientemente, el ciclo de trabajo.

35 De acuerdo con la invención, el comportamiento del par es detectado sin sensor, sin sensores de par en el motor. En este caso, no interesa una precisión absoluta, sino que debe determinarse solamente un mínimo. Para ello, el par debe determinarse, ventajosamente, mediante la evaluación de más de una corriente de fase de motor, es decir al menos dos. Alternativamente, las corrientes también pueden ser reconstruidas por medio de una denominada corriente sumada. Para la corrección de la variable de compensación detectada y almacenada en una memoria, dicha variable de compensación puede ser desplazada en el tiempo, lo cual equivale a una corrección de la posición de fase. Adicional o alternativamente, también puede corregirse la curva de amplitud. Para ello, en el caso más sencillo, se multiplican los valores de amplitud respectivos por un factor de corrección. El rizado de par puede ser definido, ventajosamente, por medio de la amplitud de una componente espectral. Debido a la frecuencia de pulsos de la tensión continua de circuito intermedio se produce a la frecuencia correspondiente una componente espectral en el espectro del par. La amplitud de dicha componente espectral en el par es usada como variable real para la regulación del rizado de par.

45 Para ello, la variable de compensación es modificada cíclicamente de modo tal que la amplitud de la componente espectral, y con ello el rizado de par, es reducida y minimizada.

50 La componente espectral puede ser calculada por medio de una transformada rápida de Fourier (FFT) en el intervalo de frecuencias, o bien puede producirse mediante la filtración una evaluación en el intervalo temporal, preferentemente con rectificación y filtrado (detector AM).

55 La invención no está limitada a los ejemplos de realización mostrados y descritos, sino que comprende también todas las realizaciones de igual acción y efecto en el sentido de la invención. De este modo, la invención no es solamente apropiada para una frecuencia de alimentación de 50 Hz, sino que trabaja con cualquier frecuencia de alimentación y también en sistemas monofásicos debido a que, también en este caso, la perturbación es periódica. Consecuentemente, las variables de perturbación y la componente fundamental de la componente espectral también tienen, por supuesto, respectivamente, otras frecuencias. Además, hasta el momento la invención tampoco está limitada a las combinaciones de características definidas en la reivindicación independiente respectiva, sino que también puede estar definida por medio de cualquier otra combinación de determinadas características de todas las características individuales dadas a conocer. Ello significa que, básicamente, virtualmente cada característica

individual de la reivindicación independiente respectiva puede ser dejada de lado o bien reemplazada, como mínimo, por una característica individual dada a conocer en otra parte de la solicitud. En tal sentido, las reivindicaciones deben entenderse solamente como un primer intento de formulación de una invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el control de un motor eléctrico (1) sin escobillas, particularmente trifásico, conmutado electrónicamente, siendo una tensión alterna de alimentación (U_N) rectificada y alimentada como corriente continua de circuito intermedio (U_z) a un inversor (6) que, para la conmutación del motor eléctrico (1) y para el ajuste de la velocidad de rotación del motor, es controlable por medio de un control MDP (modulación de duración de pulsos) (8) variable respecto de su ciclo de trabajo, de manera que mediante pulsación de tensión se generan corrientes de motor cuasi sinusoidales, estando el circuito intermedio realizado como circuito intermedio delgado sin condensador de alisado al menos sin condensador electrolítico, de modo que la tensión de corriente continua de circuito intermedio (U_z) está afectada por perturbaciones periódicas, caracterizado por una compensación de variables de perturbación optimizada dinámicamente, siendo detectada, periódicamente, la variable de perturbación y generando de la misma una variable de compensación (K) mediante la cual el control PWM (8) es influenciado respecto de su ciclo de trabajo, siendo la variable de compensación corregida, dinámicamente, por medio de un circuito de regulación de modo tal que se minimiza un rizado de par del motor eléctrico (1), siendo la variable de perturbación pulsante periódica de la tensión continua de circuito intermedio (U_z) generada, periódicamente, como variable de compensación mediante inversión o bien la formación del valor inverso, almacenada y usada en al menos un periodo subsiguiente para la compensación de la variable de perturbación, y siendo detectado el comportamiento de par del motor eléctrico (1), modificando de tal modo la variable de perturbación en función del comportamiento de par respectivo mediante la variación de su posición de fase y/o su nivel de amplitud y/o su curva de amplitud, que se reduce el rizado de par, y detectando el comportamiento de par mediante una evaluación de la corriente de motor y determinación de una componente espectral de un vector espacial de corriente, cuya amplitud real es evaluada como variable real para el rizado de par respectivo y minimizado mediante la compensación de la variable de perturbación optimizada dinámicamente.
- 10
- 15
- 20
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la componente espectral es calculada referida a una frecuencia determinada mediante una transformación rápida de Fourier (FFT).
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la evaluación mediante el detector de AM se realiza mediante filtración, preferentemente con rectificado y filtrado.
- 35 4. Procedimiento según una de las reivindicación 1 a 3, caracterizado por una aplicación con una tensión alterna de alimentación (U_N) trifásica de 50 Hz, pulsando la variable de perturbación de la tensión continua de circuito intermedio (U_z) a 300 Hz, en base al circuito intermedio delgado y alisado faltante, o sólo poco capacitivo, de modo que en el espectro del par se presenta como componente fundamental una componente espectral de 300 Hz, cuya amplitud es procesada como valor real del rizado de par.
- 40 5. Sistema de control para un motor eléctrico (1) sin escobillas conmutado electrónicamente, en particular con aplicación del procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, compuesto de un rectificador (14) y un circuito delgado conectado aguas abajo sin condensador de alisado o al menos sin condensador electrolítico, rectificando el rectificador (14) una tensión alterna de alimentación trifásica (U_N) a una tensión continua de circuito intermedio (U_z) pulsante afectada por una variable de perturbación, y un inversor (6) conectado aguas abajo controlado mediante un control MDP (8) para generar tensiones de fase de motor moduladas de manera cuasi sinusoidal ($u(t)$ L1/L2/L3), caracterizado por un dispositivo adicional (16) para la compensación de variables de perturbación optimizada dinámicamente de modo tal que un rizado de par del motor eléctrico (1) sea minimizado, presentando el dispositivo adicional (16) una entrada de tensión para la tensión continua de circuito intermedio (U_z) afectada por la variable de perturbación, una entrada de corriente para al menos dos corrientes de fase (i) o una denominada corriente sumada, así como medios para generar una variable de compensación (K) mediante la inversión o bien el valor inverso de la variable de perturbación y medios para corregir la variable de compensación (K) mediante la variación de la posición de fases y/o de amplitud.
- 45
- 50 6. Sistema de control según la reivindicación 5, caracterizado porque por medio de la variable de compensación (K) corregida actúa en un elemento multiplicador (20) una variable de control (S) generada mediante un regulador de ángulo y velocidad de rotación (10) para el control MDP (8).

