

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 472 945**

51 Int. Cl.:

H02P 6/16 (2006.01)

H02P 27/08 (2006.01)

H02M 1/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2011 E 11152387 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **24.02.2021 EP 2482442**

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

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
13.10.2021

73 Titular/es:

**EBM-PAPST MULFINGEN GMBH & CO. KG
(100.0%)
Bachmühle 2
74673 Mulfingen, DE**

72 Inventor/es:

**KÖNIG, DANIEL y
WYSTUP, RALPH**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 472 945 T5

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de control para controlar un motor eléctrico sin escobilla

La presente invención se refiere en primer lugar de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 a un procedimiento para el control de un motor eléctrico sin escobilla conmutado electrónicamente, rectificándose una tensión alterna de red trifásica a una tensión continua de circuito intermedio y suministrándose esta tensión continua a través de un circuito intermedio delgado a un inversor que a través de un control de motor para la conmutación del motor eléctrico y para el ajuste del número de revoluciones del motor se puede controlar con un ciclo de trabajo variable, de tal manera que gracias a una determinada temporización de tensión variable a través del ciclo de trabajo se forman corrientes de motor casi sinusoidales, estando configurado el circuito intermedio delgado sin condensador de aplanamiento o al menos sin condensador electrolítico con al menos un condensador de hojas y, por tanto, con una impedancia de circuito intermedio correspondientemente reducida, en particular una capacitancia reducida de circuito intermedio, de tal manera que la tensión continua de circuito intermedio está afectada por una magnitud perturbadora periódica, influyéndose para la compensación de la magnitud perturbadora en el ciclo de trabajo con un factor de compensación, de tal manera que en el circuito intermedio el producto de tensión continua de circuito intermedio y una corriente de circuito intermedio resultante se mantiene constante a lo largo de la evolución en el tiempo.

Además, la invención se refiere también a un sistema de control correspondiente, que trabaja según el procedimiento de acuerdo con la invención, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 6.

En caso de motores eléctricos sin escobilla conmutados electrónicamente, los denominados motores EC, es sabido cómo generar a partir de una tensión continua de circuito intermedio a través de un inversor controlado por PWM (PWM = pulse width modulation = modulación de duración de impulsos) tensiones entre fases para arrollamientos de fases del motor, pudiéndose ajustar a través de una variación de las proporciones de ciclo, es decir, del denominado ciclo de trabajo del control de PWM también el número de revoluciones del motor. Habitualmente, la tensión continua de circuito intermedio se crea mediante rectificación de una tensión alterna de red monofásica o, en particular, trifásica, generándose a través de un rectificador en puente no controlado en primer lugar una tensión continua en impulsos muy ondulada. En el caso de una tensión de red trifásica con la frecuencia habitual de 50 Hz, la tensión rectificada tiene impulsos con una frecuencia de impulsos de 300 Hz. Por tanto, en realidad se requiere un aplanamiento a través de al menos un condensador de aplanamiento y, dado el caso, una inductancia de filtro adicional. Debido a la capacitancia relativamente grande, necesaria en realidad para esto, del condensador de aplanamiento, normalmente se emplean condensadores electrolíticos (elcos), pero los mismos en el empleo práctico tienen algunas desventajas y, de hecho, en particular un gran volumen constructivo y una reducida vida útil.

Por tanto, actualmente existe la tendencia de prescindir por completo de condensadores de aplanamiento o al menos de condensadores electrolíticos, empleándose en el segundo caso condensadores de hojas de mayor vida útil con menor capacitancia. En este caso se habla de un "circuito intermedio delgado". Pero a este respecto aparece la desventaja de que la ondulación residual se transmite como magnitud perturbadora al par del motor. Un par por impulsos o una ondulación de par, sin embargo, conduce a una intensa formación de ruidos que puede ser muy molesta en particular en caso de accionamientos de ventilador.

Por tanto, se sabe cómo prever una compensación de magnitud perturbadora, invirtiéndose la magnitud perturbadora e influyéndose en el ciclo de trabajo con un factor de compensación, de tal manera que en el circuito intermedio el producto de tensión continua de circuito intermedio y una corriente de circuito intermedio resultante a través del inversor se mantiene constante a lo largo de la evolución en el tiempo. Esta compensación de la tensión continua de circuito intermedio ondulada causa, por tanto, un consumo constante de potencia del motor eléctrico. La función inversa de la tensión continua de circuito intermedio se superpone al ciclo de trabajo del motor. Para esto, con una tensión continua de circuito intermedio respectivamente decreciente/creciente, el ciclo de trabajo del motor se amplía/reduce de tal manera que el producto de corriente de circuito intermedio y tensión continua de circuito intermedio permanece constante. Esto significa también que con una tensión continua de circuito intermedio respectivamente decreciente, la corriente de circuito intermedio tiene que aumentar.

En el documento EP 2 164 164 A1 en un sistema de control correspondiente para el control de un motor eléctrico sin escobilla está previsto un tipo particular de compensación de magnitud perturbadora y, en concreto, se trata de una compensación de magnitud perturbadora optimizada dinámicamente. A este respecto, durante el funcionamiento mediante supervisión del par actual se registra el efecto de la respectiva compensación de magnitud perturbadora sobre el par actual y se optimiza periódicamente mediante variación de la magnitud de compensación o del factor de compensación para minimizar la ondulación del par y, por ello, también la generación de ruidos.

Durante el empleo práctico, una compensación de magnitud perturbadora junto con un circuito intermedio delgado puede conducir a la desventaja de que aparezcan sobretensiones inadmisibles en el circuito intermedio. Ya que por norma general los inversores están equipados con una desconexión de sobretensión para proteger los componentes electrónicos frente a tensiones inadmisiblemente altas, esto puede conducir a desconexiones indeseadas del funcionamiento del motor. Esto puede conducir en caso de accionamientos relevantes para la seguridad, tales como accionamientos de ventilador, a otros daños secundarios por sobrecalentamiento de un equipo a refrigerar.

La presente invención se basa en el objetivo de indicar un procedimiento del tipo que se ha descrito al principio y de crear un sistema de control correspondiente para ampliar el intervalo de funcionamiento del motor eléctrico, de tal manera que se pueda mantener el funcionamiento también a lo largo de intervalos de trabajo por lo demás vulnerables a perturbaciones. De acuerdo con la invención, esto se consigue por un lado mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1 y, por otro lado, mediante un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 6. En las reivindicaciones dependientes están contenidas configuraciones ventajosas.

La invención se basa en los siguientes conocimientos. Debido a la compensación de magnitud perturbadora que se ha explicado anteriormente, con una tensión continua de circuito intermedio respectivamente decreciente, la corriente del circuito intermedio respectivamente tiene que aumentar. Por ello se genera una corriente por impulsos, lo que causa, en particular con un funcionamiento en una red de alta impedancia, en particular de alta inductancia, una excitación de la tensión de red y, por tanto, también de la tensión continua de circuito intermedio rectificadas en el circuito intermedio. Con una tensión pequeña fluye una gran corriente y la tensión decreciente por ello a través de la inductancia de red reduce, por tanto, la tensión existente en el consumidor. Si la tensión de red aumenta, se reduce la corriente de red. La inductancia de red actúa ahora en el fondo como una fuente adicional de tensión, ya que la energía acumulada en la impedancia de red fluye a través de la corriente de red ahora menor al circuito intermedio. A este respecto se suma la tensión en la inductancia de red a la tensión de red; se produce un aumento excesivo de la tensión. A partir de esto resulta un aumento de la parte de tensión alterna en la tensión continua del circuito intermedio, aumentando la amplitud de la tensión con impedancia de red y carga de motor crecientes. Como consecuencia pueden aparecer picos de tensión tan altos que se desconecta el funcionamiento del motor por una protección contra sobretensión.

Para evitar esto al menos a lo largo de un intervalo de funcionamiento ampliado, de acuerdo con la invención en un primer tipo de realización (reivindicaciones 1 y 6) está previsto que se supervise la tensión continua de circuito intermedio en relación con la magnitud de su parte alterna, cambiándose en el caso de alcanzar o superar un primer valor límite predefinido de la parte alterna el factor de compensación para la reducción de la compensación de magnitud perturbadora hasta que la parte alterna actual disminuya de nuevo hasta o por debajo del valor límite. A este respecto, la compensación se puede hacer retroceder hasta que ya no se efectúe ninguna compensación más.

En un segundo tipo de realización alternativa de la invención (reivindicaciones 2 y 7) se supervisa y procesa –en lugar de la propia tensión continua de circuito intermedio– una tensión continua de medición ramificada adicionalmente de la tensión de red y rectificadas por separado de una forma por lo demás análoga al primer tipo de realización. La tensión continua de medición es igual o al menos proporcional a la tensión continua de circuito intermedio. En este caso se realiza también la compensación de magnitud perturbadora incluyendo la variación de acuerdo con la invención mediante la tensión continua de medición independiente, de tal manera que prácticamente se forma un circuito de medición y regulación separado, independiente del circuito intermedio. Esta segunda variante de realización tiene la ventaja de que las repercusiones de la conmutación del motor eléctrico en el circuito intermedio no tienen efecto en el circuito de medición independiente, por lo que se consigue un comportamiento de regulación más preciso, más estable.

Gracias a la compensación reducida en ambos casos de acuerdo con la invención se reduce también la corriente de circuito intermedio por impulsos, por lo que se evita o al menos se reduce una excitación de la red de alta impedancia, de tal manera que por consiguiente se contrarrestan también aumentos excesivos de la tensión en el circuito intermedio y se evita una desconexión indeseada de una protección frente a sobretensión a lo largo de un intervalo de funcionamiento ampliado. No obstante, en este estado de funcionamiento de acuerdo con la invención la potencia en el circuito intermedio ya no se mantiene constante, de tal manera que la potencia por impulsos tiene un efecto desventajoso sobre el par del motor y la formación de ruidos. Pero esta desventaja se acepta en el interés del intervalo ampliado de funcionamiento del motor.

Si ahora esta medida de acuerdo con la invención descrita hasta ahora no fuese suficiente para reducir la parte alterna a o por debajo del primer valor límite, entonces –prácticamente como segundo paso de funcionamiento de acuerdo con la invención– está previsto que, en el caso de que la parte alterna actual de la tensión continua de circuito intermedio o de la tensión continua de medición alcance o supere un segundo valor límite predefinido mayor, el ciclo de trabajo del motor se cambie para la reducción de la potencia del motor. De este modo se continua conservando también entonces el funcionamiento del motor, aunque con potencia reducida y con un ruido de trabajo correspondientemente más intenso.

La presente invención es particularmente adecuada para la aplicación a accionamientos relevantes para la seguridad tales como, sobre todo, accionamientos de ventilador, en cuyo caso una avería causaría otros daños secundarios en particular por sobrecalentamiento, así como para el funcionamiento de tales accionamientos también en redes de alta inductancia. Para esto se señala que la expresión "alta inductancia" significa que la inductancia de red alcanza un valor de 0,5 mH o mayor. Gracias a la invención se puede ampliar el intervalo de funcionamiento del motor eléctrico hasta una inductancia de red de al menos 4 mH.

La invención se ha de explicar con más precisión mediante un ejemplo de realización preferente. Muestran:

- La Figura 1, un diagrama de bloques esquemático simplificado de un sistema de control de acuerdo con la invención en una primera forma de realización,
- La Figura 2, un diagrama de bloques como en la Figura 1, pero en una segunda forma de realización preferente y
- La Figura 3, un diagrama para ilustrar los tipos de funcionamiento ampliados del sistema de control dependiendo de la carga del motor, es decir, la potencia eficaz y la impedancia de red.

De acuerdo con las Figuras 1 y 2, un sistema de control de acuerdo con la invención sirve para el control de un motor eléctrico M representado de forma muy esquemática, en cuyo caso se trata, preferentemente, de un motor sincrónico excitado por imán permanente (PMSM) de tres fases, es decir, en realidad de un motor de corriente trifásica que se hace funcionar, no obstante, con tensión continua a través de un inversor 2 controlado. Por tanto, un motor eléctrico M de este tipo se denomina frecuentemente motor de corriente continua sin colector, conmutado electrónicamente o de forma abreviada también motor EC.

Para la alimentación del motor M en primer lugar se rectifica una tensión alterna de red U_N trifásica a través de un rectificador de red 4 no controlado hasta dar una tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} . En el circuito de entrada de la tensión alterna de red U_N en las tres fases están representados resistores de sustitución R e inductores de sustitución L. El rectificador de red 4 está unido con el inversor 2 a través de un circuito intermedio 6, que está configurado como un denominado "circuito intermedio delgado". Esto significa que no contiene ninguna impedancia de circuito intermedio, o solo una muy pequeña, debido a que se prescinde por completo de un condensador de aplanamiento o debido a que –como en el ejemplo de realización representado– en lugar de un condensador electrolítico contiene solo un condensador de hojas más sencillo con menor capacitancia como capacitancia de circuito intermedio 8. La capacitancia en el circuito intermedio delgado 6 asciende solo como máximo al 10 % de la capacitancia requerida en realidad para el aplanamiento de la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} por impulsos rectificada en un denominado "circuito intermedio grueso". La magnitud de esta capacitancia depende básicamente al menos de la potencia del consumidor. Dependiendo del diseño, una capacitancia en un circuito intermedio grueso puede ascender, por ejemplo, a 330 μF ; en este caso un diseño con circuito intermedio delgado llevaría a una capacitancia de circuito intermedio 8 en el orden de magnitudes de solo 5 a 20 μF .

A causa de la reducida capacitancia de circuito intermedio 8 en el circuito intermedio delgado 6, la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} está afectada por una magnitud perturbadora periódica; se mueve en impulsos alrededor de un valor central, es decir, a la tensión continua correspondiente al valor central está superpuesta una parte alterna.

El inversor 2 está configurado como nivel final de puente completo a partir de seis elementos de conmutación semiconductores de potencia controlados que se controlan por un control de motor 10 dependiendo de la posición de giro de rotor φ registrada con medios adecuados para la conmutación del motor eléctrico M y para el ajuste del número de revoluciones. Esto se realiza de forma en sí suficientemente conocida mediante una modulación de duración de impulsos (PWM), de tal manera que se modulan tensiones y corrientes de fase de motor casi sinusoidales. Para esto se da como magnitud determinante por el control de motor 10 un ciclo de trabajo de PWM A –denominado con frecuencia también "duty cycle"– al rectificador 2. Este tipo de control de motor es suficientemente conocido y no requiere más explicaciones.

A causa del circuito intermedio delgado 6, la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} por impulsos, afectada por una magnitud perturbadora, a través del inversor 2 causaría un par de motor correspondientemente por impulsos, lo que estaría asociado a ruidos de marcha molestos. Para evitar esto, en el sistema de control de acuerdo con la invención está contenida una compensación de magnitud perturbadora también en sí conocida.

En la realización de acuerdo con la Figura 1, para esto, la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} afectada por magnitud perturbadora, por impulsos, se invierte en un miembro de inversión 12 y esta función inversa de la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} se superpone al ciclo de trabajo de motor A como factor de compensación k. Cuando a lo largo de la evolución en el tiempo la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} respectivamente se hace más pequeña, aumenta el ciclo de trabajo A de tal manera que la potencia de circuito intermedio P_{ZK} como producto de la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} y la corriente de circuito intermedio I_{ZK} respectivamente resultante permanece esencialmente constante; se aplica

$$P_{ZK}(t) = U_{ZK}(t) \cdot I_{ZK}(t) = \text{const.}$$

De esto se deduce que con una tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} respectivamente decreciente, la corriente de circuito intermedio I_{ZK} respectivamente tiene que aumentar. La consecuencia es una corriente de circuito intermedio I_{ZK} correspondientemente por impulsos, lo que en el caso de una red de alta impedancia debido a repercusión de red puede conducir a elevados picos de tensión en el circuito intermedio 6, lo que entonces después debido a una protección frente a sobretensión necesaria del inversor 2 puede conducir a una desconexión del funcionamiento del motor.

Para evitar esto y para ampliar el intervalo de funcionamiento del motor eléctrico M también en redes de alta impedancia, de acuerdo con la invención se adoptan las siguientes medidas.

De acuerdo con la Figura 1, con un medidor de tensión 14 se mide la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} en el circuito intermedio 6 como tensión actual $U_{ZK,act,med}$. A partir de esto, en un formador de valor medio 16 se forma el valor medio $U_{ZK,medi,med}$. Además de acuerdo con la invención se establece la parte alterna U_{ZKca} de la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} actual medida en un miembro de CA 18 como magnitud entre los valor máximos y mínimos y se compara en un comparador 21 asignado a un primer regulador 20 con un valor límite $U_{ZKca,máx1}$ predefinido. Al alcanzar o superar este valor límite se produce una reducción de la compensación de magnitud perturbadora que se ha descrito anteriormente para reducir la ondulación de la corriente de circuito intermedio I_{ZK} en el circuito intermedio 6 y evitar por ello una excitación demasiado intensa de red.

Preferentemente, el regulador 20 configurado como regulador PI da una señal de salida a un multiplicador 22 en el que se cambia la tensión de circuito intermedio medida actualmente $U_{ZK,act,med}$ hasta una tensión $U_{ZK,act,nueva}$ modificada para la compensación de magnitud perturbadora. En un multiplicador 24 pospuesto al miembro de inversión 12 se calcula un grado de compensación k actual, adaptado, a partir del valor medio $U_{ZK,medi,med}$ y la tensión de circuito intermedio actual cambiada $U_{ZK,act,nueva}$ y se superpone al ciclo de trabajo A en un multiplicador 26, de tal manera que mediante modificación del ciclo de trabajo A se reduce la parte de CA de nuevo al menos hasta el valor límite $U_{ZKca,máx1}$ predefinido.

La corrección de la parte de tensión alterna de la tensión de circuito intermedio se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$U_{ZK,act,nueva} = (U_{ZK,act,med} - U_{ZK,medi,med}) \cdot S_k + U_{ZK,medi,med}$$

En la misma significan:

$U_{ZK,act,nueva}$ = tensión continua de circuito intermedio corregida
 $U_{ZK,act,med}$ = tensión continua de circuito intermedio medida actualmente
 $U_{ZK,medi,med}$ = valor medio de $U_{ZK,act,med}$ (=parte de CC)
 $(U_{ZK,act,med} - U_{ZK,medi,med})$ = parte alterna (parte CA) de $U_{ZK,act,med}$
 S_k = factor de escala de la parte de CA con $s_k = 0$ a 1

El factor de compensación k para la compensación de magnitud perturbadora modificada de la tensión continua de circuito intermedio ondulada se calcula con

$$k = \frac{U_{ZK,medi,med}}{U_{ZK,act,nueva}}$$

En el caso de que las medidas descritas hasta ahora en determinadas condiciones de funcionamiento no sean suficientes para, mediante reducción hasta la omisión por completo de la compensación de magnitud perturbadora, mantener la parte alterna U_{ZKca} en o por debajo del primer valor límite $U_{ZKca,máx1}$, entonces preferentemente está previsto un segundo regulador 28 con un miembro de CA 30 antepuesto y un segundo comparador de valor límite 31. Cuando la parte alterna establecida actualmente U_{ZKca} de la tensión de circuito intermedio alcanza o supera un segundo valor límite $U_{ZKca,máx2}$ predefinido, siendo el segundo valor límite mayor que el primer valor límite que se ha mencionado anteriormente, entonces el regulador PI 28 emite una señal de salida a que está configurada de tal manera y se superpone en un multiplicador 32 al ciclo de trabajo A, que se causa una reducción de la potencia del motor.

En lo relativo ahora a la variante de realización, representada en la Figura 2, de la invención, la misma se corresponde muy esencialmente con la realización de acuerdo con la Figura 1, por lo que las partes y las magnitudes iguales o funcionalmente correspondientes están provistas de las mismas referencias y denominaciones. La diferencia esencial de esta realización de acuerdo con la Figura 2 frente a la Figura 1 radica en que no se mide, se supervisa y se usa directamente la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} para el procesamiento adicional. En lugar de esto, la tensión alterna de red U_N trifásica se ramifica y se rectifica a través de un rectificador de red 4a no controlado adicional hasta dar una tensión continua de medición también correspondientemente por impulsos, afectada por una magnitud perturbadora, que se corresponde o al menos es proporcional a la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} . Por tanto, la tensión continua de medición que se mide también con un medidor de tensión 14 se denomina $U_{ZK'}$ y su valor respectivamente medido de forma actual por motivos de simplicidad se denomina al igual que en la Figura 1 $U_{ZK,act,med}$. La evaluación y el procesamiento posteriores entonces se corresponden exactamente con la realización de acuerdo con la Figura 1, de tal manera que se hace referencia a las anteriores explicaciones. Esta realización de acuerdo con la Figura 2 con la tensión continua de medición separada $U_{ZK'}$ es particularmente ventajosa, debido a que el circuito de medición, control y regulación trabaja independientemente de la tensión continua de circuito intermedio U_{ZK} real y de repercusiones de motor que aparecen en el circuito intermedio 6 y, por tanto, también de forma más precisa y estable.

En la Figura 3 están ilustrados los intervalos de trabajo ampliados. En este diagrama está registrada en el eje X la inductancia de red, por ejemplo en etapas de 0,3 mH cada una de 0,3 a 6 mH y en el eje Y está registrada la potencia eficaz, por ejemplo en etapas de 200 W cada una de 200 W a 6000 W. Un primer intervalo de trabajo I es el funcionamiento normal con compensación de magnitud perturbadora completa. En un segundo intervalo de trabajo II es posible un funcionamiento continuado con compensación de magnitud perturbadora de reducida a completamente ausente. En un intervalo de transición entre el segundo intervalo de funcionamiento II y un intervalo III limitante se realiza el funcionamiento con potencia eficaz reducida y sin compensación de magnitud perturbadora.

En caso de que las dos medidas de acuerdo con la invención no fuesen suficientes, el funcionamiento se desconecta por una desconexión de sobretensión habitual del inversor 2.

Gracias a la invención, el motor eléctrico M se puede hacer funcionar ventajosamente más allá del intervalo de trabajo 1 normal en la transición del intervalo II a III, aunque sea con mayores ruidos de marcha y, dado el caso, potencia reducida.

En una configuración preferente se puede aplicar una compensación de magnitud perturbadora especial optimizada dinámicamente.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar un motor (M) eléctrico sin escobillas, conmutado electrónicamente, en el que una tensión (UN) de CA principal trifásica se rectifica y alimenta a una tensión (UZK) de enlace de CC, y esta tensión (UZK) de CC se suministra a un inversor (2) a través de un circuito (6) de enlace de CC delgado, donde dicho inversor (2) se puede controlar mediante una unidad (10) de control de motor para pulsos de PWM con el fin de conmutar el motor (M) eléctrico y ajustar la velocidad de motor con un ciclo de trabajo (A) variable, el circuito de enlace de CC delgado se configura sin un condensador de suavizado, o al menos sin un condensador electrolítico, de modo que la tensión (UZK) de enlace de CC está sujeto a una variable de perturbación periódica, siendo influenciado el ciclo de trabajo (A) por un factor (k) de compensación para compensar la variable de perturbación, de modo que el producto de la tensión (UZK) de enlace de CC y una corriente (IZK) de circuito de enlace resultante se mantiene constante, caracterizado por que la tensión (UZK) de enlace de CC se monitorea con respecto a la amplitud de un componente (UZKac) de CA, en donde en el caso de alcanzar o superar un primer valor (UZKac-max1) umbral predefinido del componente (UZKac) de CA de una tensión (UZK.akt.mess) de enlace de CC actualmente medida, el factor (k) de compensación para reducir la variable de perturbación se modifica mediante un controlador (20) hasta que el componente (UZKac) de CA actual desciende de nuevo hasta o por debajo del valor (UZKac.max1) umbral, en donde el factor (k) de compensación se calcula en función de la tensión (UZK'.akt.mess) de enlace de CC actualmente medida, un valor promedio de las tensiones (UZK.Mitt.mess) de enlace de CC actualmente medidas y un factor (Sk) de escala, en donde una corrección del componente AZ de la tensión de circuito de enlace de CC se hace mediante la siguiente ecuación:

$$UZK.akt.neu = (UZKakt.mess - UZK.Mitt.mess) * Sk + UZK.Mitt.mess$$

y significan lo siguiente en la misma:

UZK.akt.neu = tensión de enlace de CC corregida

UZK.akt.mess = tensión de enlace de CC actualmente medida

UZK.Mitt.mess = valor promedio de UZK.akt.mess (= componente de CC)

(UZK.akt.mess - UZK.Mitt.mess) = componente alterna (componente de CA) de UZK.akt.mess

Sk = factor de escala del componente de CA con Sk = 0 a 1

y en donde el factor k de compensación para la compensación de perturbación modificada de la tensión de enlace de CC ondulada se calcula de la siguiente manera:

$$k = \frac{UZK.Mitt.mess}{UZK.akt.neu}$$

2. El método de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, caracterizado por que la tensión (UN) de red de CA se rectifica y alimenta a una tensión (UZK') de CC de medición adicional correspondiente o proporcional a la tensión (UZK) de enlace de CC, en donde esta tensión (UZK') de CC de medición se monitorea con respecto a la amplitud de un componente (UZKac) de CA, y donde, en caso de alcanzar o superar un primer valor (UZKac.max1) umbral predefinido del componente (UZKac) de CA, el factor (k) de compensación para reducir la compensación de la variable de perturbación se modifica hasta que el componente (UZKac) de CA actual descienda de nuevo hasta o por debajo del valor (UZKac.max1) umbral.
3. El método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que, en caso de que el componente (UZKac) de CA actual no descienda hasta o por debajo del primer valor (UZKac.max1) umbral, sino que alcanza o supera un segundo valor (UZKac.max2) umbral superior predefinido del componente (UZKac) de CA de la tensión (UZK) de enlace de CC o de la tensión (UZK') de CC de medición, el ciclo de trabajo (A) se modifica para reducir la potencia del motor.
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 3, caracterizado por que en caso de picos de tensión definidos inadmisiblemente altos de la tensión (UZK) de enlace de CC o de la tensión (UZK') de CC de medición, se desconecta el funcionamiento del motor (M) eléctrico.
5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 4, caracterizado por que la compensación de la variable de perturbación se optimiza dinámicamente para minimizar la ondulación de par del motor (M) eléctrico por medio de un controlador.
6. Un sistema de control para un motor (M) eléctrico sin escobillas, conmutado electrónicamente, que utiliza el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene un rectificador (4) de red, que rectifica una tensión (UN) de CA de red trifásica y la alimenta a una tensión (UZK) de enlace de CC, y que tiene un inversor (2) dispuesto aguas abajo mediante un circuito (6) de enlace de CC delgado configurado sin un condensador de suavizado, o al menos sin un condensador electrolítico, donde dicho inversor (2) se puede controlar mediante una unidad (10) de control de motor para pulsos de tensión de PWM con un ciclo de trabajo (A) variable para conmutar el motor (M) eléctrico y ajustar la velocidad de motor, además de tener un dispositivo para compensar la variable de perturbación con respecto a la tensión (UZK) de enlace de CC que está sujeta a una variable de perturbación periódica, siendo influenciado el ciclo de trabajo (A) por un

factor (k) de compensación tal que el producto de la tensión (UZK) de enlace de CC y una corriente (IZK) de enlace de CC resultante se mantiene constante en el circuito (6) de enlace,

caracterizado por que en un primer circuito de control que tiene un controlador (20) que compara la amplitud de un componente (UZKac) de CA de la tensión (UZK) de enlace de CC con un primer valor (UZKac.max1) umbral, en donde en caso de alcanzar o superar el primer valor (UZKac.max1) umbral del componente (UZKac) de CA de una tensión (UZK.akt.mess) de enlace de CC actualmente medida, se reduce la compensación de la variable de perturbación modificando el factor (k) de compensación por medio del controlador (20) hasta que el componente (UZKac) de CA actual desciende de nuevo hasta o por debajo del primer valor umbral, en donde se calcula el factor (k) de compensación en función de la tensión (UZK'.akt.mess) de enlace de CC actualmente medida, un valor promedio de la tensiones (UZK.Mitt.mess) de enlace de CC actualmente medidas y un factor (Sk) de escala, en donde una corrección del componente AZ de la tensión de circuito de enlace de CC se hace mediante la siguiente ecuación:

$$UZK.akt.neu = (UZKakt.mess - UZK.Mitt.mess) * Sk + UZK.Mitt.mess$$

y significan lo siguiente en la misma:

UZK.akt.neu = tensión de enlace de CC corregida

UZK.akt.mess = tensión de enlace de CC actualmente medida

UZK.Mitt.mess = valor promedio de UZK.akt.mess (= componente de CC)

(UZK.akt.mess - UZK.Mitt.mess) = componente alterna (componente de CA) de UZK.akt.mess

Sk = factor de escala del componente de CA con Sk = 0 a 1

y en donde el factor k de compensación para la compensación de perturbación modificada de la tensión de enlace de CC ondulada se calcula de la siguiente manera:

$$k = \frac{UZK.Mitt.mess}{UZK.akt.neu}$$

7. El sistema de control de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 6, caracterizado por que un rectificador (4a) de red adicional, que rectifica la tensión (UN) de CA de red, la alimenta a una tensión (UZK') de CC de medición separada y compara la amplitud de un componente (UZKac) de CA de la tensión (UZK') de CC de medición con un primer valor (UZKac.max1) umbral predefinido por medio de un controlador (20), en donde, en caso de alcanzar o superar el primer valor (UZKac.max1) umbral, se reduce la compensación de la variable de perturbación modificando el factor (k) de compensación hasta que el componente (UZKac) de CA actual desciende de nuevo hasta o por debajo del primer valor umbral.

8. El sistema de control de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, caracterizado por que en un segundo circuito de control que tiene un controlador (28) que compara la amplitud del componente (UZKac) de CA de la tensión (UZK) de enlace de CC o de la tensión (UZK') de CC de medición con un segundo valor (UZKac.max2) umbral superior predefinido, en donde en caso de alcanzar o superar el segundo valor umbral, se reduce la potencia del motor modificando el ciclo de trabajo (A).

9. El sistema de control de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de 6 a 8, caracterizado por que el/cada controlador (20, 28) se configura como un controlador PI.

10. El sistema de control de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de 6 a 9, caracterizado por una unidad de control para minimizar la ondulación de par del motor (M) eléctrico optimizando dinámicamente la compensación de la variable de perturbación.

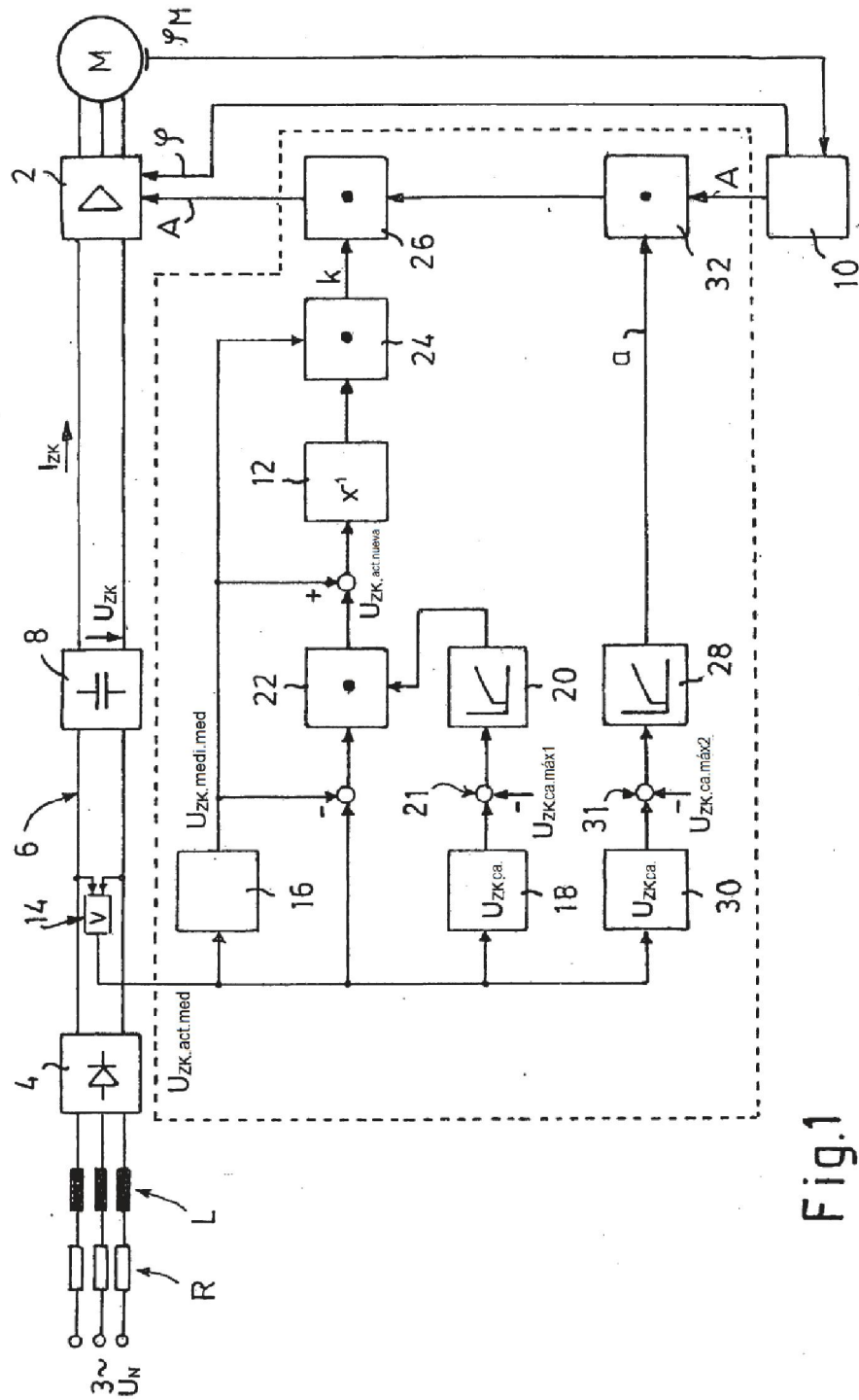


Fig.1

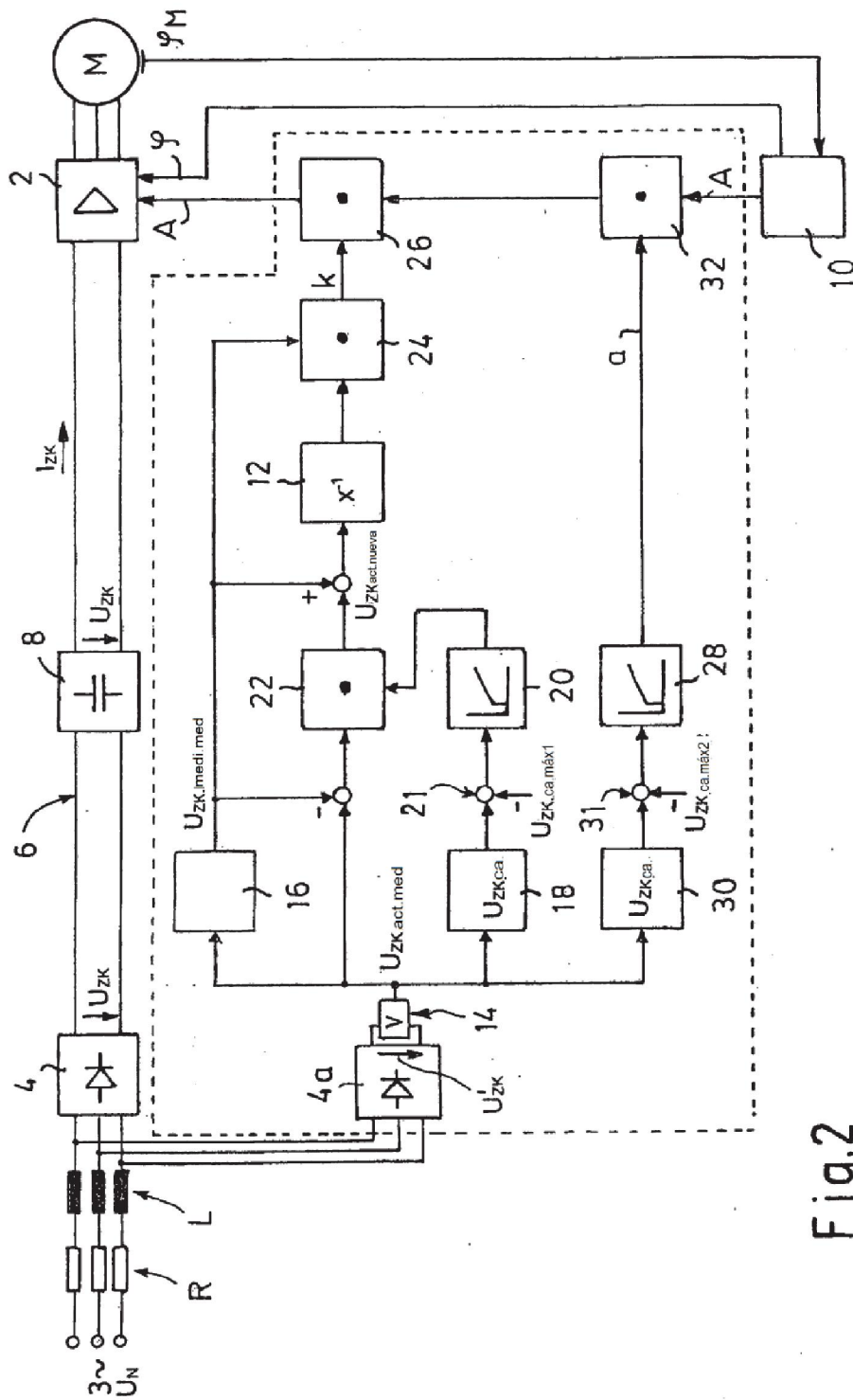


Fig.2

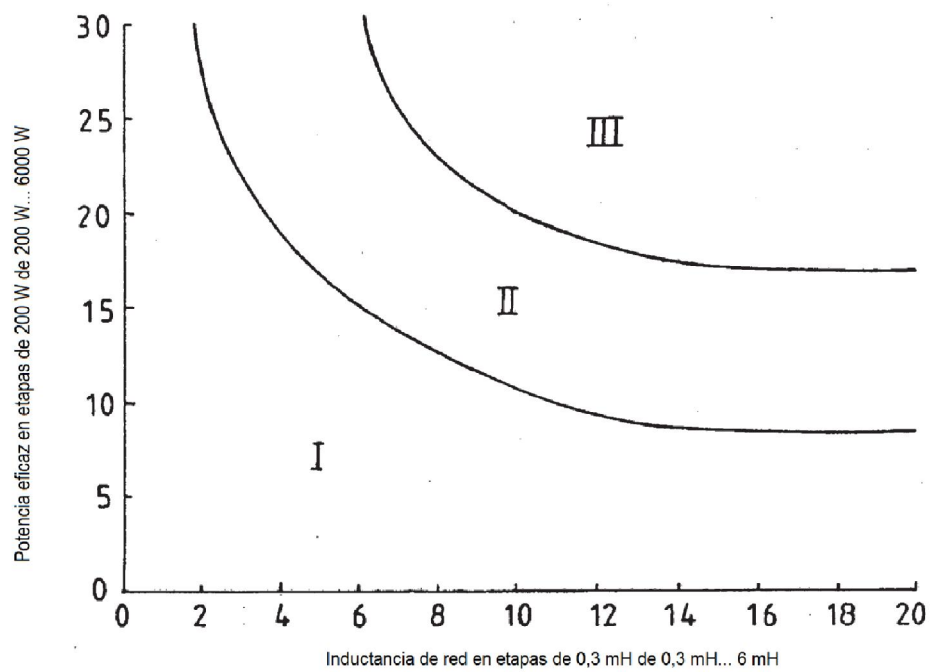


Fig.3