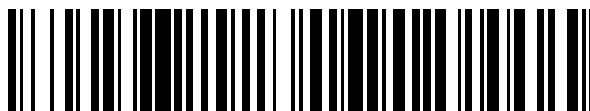


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 461 171**

51 Int. Cl.:

H02P 6/18 (2006.01)

G05B 11/28 (2006.01)

G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2010 E 10726114 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.04.2014 EP 2467931**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el funcionamiento de un motor eléctrico**

30 Prioridad:

20.08.2009 DE 102009028746

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

19.05.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

FRICKER, DAVID

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 461 171 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 dispositivo para el funcionamiento de un motor eléctrico

Campo técnico

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una máquina síncrona excitada con imán permanente, en particular a un procedimiento para el ajuste de un perfil de la corriente en una máquina síncrona de este tipo.

Estado de la técnica

10 Para la activación de máquinas síncronas excitadas con imán permanente se conoce aplicar un perfil de la corriente en las fases individuales de la máquina síncrona. El perfil de la corriente define corrientes de fases deseadas dependientes del punto de funcionamiento para cada fase del motor en una posición determinada del rotor (ángulo de posición) o bien un desarrollo deseado dependiente del punto de funcionamiento del flujo de corriente en determinadas zonas del ángulo de posición del rotor de la máquina síncrona. Las corrientes de fases en el ángulo de posición determinado o bien en la zona determinada de ángulos de posición se ajustan por medio de la aplicación de tensiones de fases, que se establecen en cada caso como constantes, mientras el rotor se encuentra en la zona determinada de ángulos de posición. Las tensiones de fases se pueden acondicionar con la ayuda de un circuito de excitación adecuado, como por ejemplo un circuito de puente-H o un circuito de excitación-B6. El funcionamiento de un motor de corriente continua sin escobillas con la ayuda de perfiles de corriente de fases es, por ejemplo, objeto de los documentos WO2007026291 y JP2001113082.

20 Para fijación de los parámetros de las tensiones de fases a aplicar en las zonas individuales de ángulos de posición se realiza hasta ahora empíricamente. En este caso, se fijan los parámetros especialmente del gradiente de la corriente que resulta a partir de la aplicación de una tensión de fases respectiva en una zona de ángulos de fases, de la meseta de la corriente y de la caída de la corriente. Esto es costoso y una modificación condicionada, por ejemplo, por el envejecimiento de propiedades eléctricas de la máquina síncrona requiere una nueva fijación de los parámetros.

25 El ajuste lo más exacto posible de un perfil predeterminado de la corriente para el funcionamiento de la máquina síncrona es necesario para poder mantener lo más reducido posible el desarrollo de ruido durante el funcionamiento de la máquina síncrona. Con frecuencia se mide a tal fin una o varias de las corrientes de fase y se adapta a través de una regulación adecuada de la corriente, por ejemplo a través de la adaptación de la tensión correspondiente de las fases la corriente de fases correspondiente a la corriente de fases predeterminada deseada. La previsión de una regulación de la corriente de este tipo para el ajuste de las corrientes de fases de acuerdo con un perfil de la corriente es, sin embargo, costosa de realizar y puede conducir, en determinadas circunstancias, a estados de funcionamiento inestables.

30 Por lo tanto, el cometido de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un dispositivo para el funcionamiento de una máquina síncrona excitada con imán permanente, en los que se establecen las tensiones de fases a aplicar para predeterminar un perfil discrecional de la corriente. En particular, un cometido de la invención es poder realizar el ajuste de la corriente en un funcionamiento controlado sin realización de una medición de la corriente.

Publicación de la invención

40 Este cometido se soluciona por medio del procedimiento para el funcionamiento de una máquina síncrona de acuerdo con la reivindicación 1 así como por medio del dispositivo de acuerdo con la reivindicación dependiente.

Otras configuraciones ventajosas se indican en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con un primer aspecto se prevé un procedimiento para el funcionamiento de una máquina eléctrica polifásica para la aplicación de tensiones de fases variables. El procedimiento comprende las siguientes etapas:

- 45 - preparación de un perfil de la corriente de fases, que indica para cada fase de la máquina eléctrica una curva dependiente de la posición del rotor de la corriente de fases respectiva;
- cálculo de la tensión de fases constante a aplicar durante una ventana de tiempo predeterminada para cada fase en función de una indicación de la corriente de fases, que indica un desarrollo linealizado de la corriente de fases a aplicar entre la corriente de fases predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al comienzo de la ventana de tiempo predeterminada y la corriente de fases predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al final de la ventana de tiempo predeterminada, en el que la tensión de las fases a aplicar para cada fase se calcula, además, en función de una modificación estimada de un flujo magnético respectivo, en el que las modificaciones de los flujos magnéticos se calculan con la ayuda de las corrientes de fases predeterminadas a

través del perfil de la corriente de fases.

El objetivo el procedimiento indicado anteriormente es acondicionar durante la previsión de un perfil de la corriente, que indica una curva de la corriente sobre la posición del rotor de la máquina eléctrica, las tensiones de las fases, con las que se puede alcanzar el perfil de la corriente predeterminada. Esto debe realizarse sin medición de la corriente de las fases, para que el ajuste de la corriente sea posible en el modo controlado. Esto se consigue porque se supone el perfil de la corriente por secciones como desarrollo lineal de la corriente y se calcula y se aplica la tensión de las fases en función de la indicación de la corriente de las fases.

Además, se puede indicar la curva de la corriente de las fases en la ventana de tiempo predeterminada como valor medio de la corriente de las fases en la ventana de tiempo predeterminada. En particular, se puede calcular el valor medio de la corriente de una fase a aplicar durante la ventana de tiempo predeterminada, sumando y dividiendo por dos la corriente de la fase predeterminada a través el perfil de la corriente de las fases al comienzo de la ventana de tiempo y la corriente de la fase predeterminada a través del perfil de la corriente de las fases al final de la ventana de tiempo.

La tensión de las fases se puede calcular, además, teniendo en cuenta la concatenación del flujo del imán permanente y las inductancias propias y de acoplamiento con la ayuda de la ecuación del motor. De esta manera, se puede prescindir de una parametrización costosa, puesto que solamente se necesitan la inductancia propia y la inductancia de acoplamiento de las secciones individuales de la máquina eléctrica así como la concatenación del flujo de los imanes permanentes.

En particular, se puede estimar la modificación de un flujo magnético, además, en función de la posición del rotor. A tal fin, puede estar previsto que la modificación de un flujo magnético sea calculada como diferencia entre un flujo magnético estimado al final de la ventana de tiempo predeterminada y un flujo magnético estimado al comienzo de la ventana de tiempo predeterminada.

En particular, se puede determinar una posición de un rotor de la máquina eléctrica, calculando la modificación de un flujo magnético asociado a una de las fases a través de la suma de una concatenación de los flujos magnéticos de los imanes permanentes, que dependen de la posición del rotor, y de los flujos magnéticos provocados por los arrollamientos de las fases alimentados con corriente, que dependen de la posición del rotor y de la corriente de las fases de la fase, siendo estimados los flujos magnéticos provocados por los arrollamientos de las fases alimentados con corriente con la ayuda de las corrientes de las fases, predeterminadas por el perfil de la corriente de las fases, de la fase.

En particular, puede estar previsto que durante el cálculo de la modificación del flujo magnético asociado a una de las fases se omitan los flujos magnéticos provocados por los arrollamientos de las fases alimentados con corriente, cuando el número de revoluciones no alcanza un valor umbral del número de revoluciones.

Además, se puede calcular la tensión de las fases a aplicar de una fase como modificación de un flujo magnético asociado a la fase dividido por la duración de tiempo de la ventana de tiempo predeterminada.

Puede estar previsto que la tensión de las fases a aplicar de una fase se calcule como la suma de la modificación de un flujo magnético asociado a la fase dividida por la duración de tiempo de la ventana de tiempo predeterminada y el producto del valor medio de la corriente de las fases a aplicar durante la ventana de tiempo predeterminada de la fase con una resistencia de arrollamiento.

De acuerdo con otro aspecto, está previsto un dispositivo para el funcionamiento de una máquina eléctrica polifásica a través de la preparación de tensiones de fases variables, que está configurado para

- preparar un perfil de la corriente de fases, que indica para cada fase de la máquina eléctrica una curva dependiente de la posición del rotor de la corriente de fases respectiva;

- calcular la tensión de fases constante a aplicar durante una ventana de tiempo predeterminada para cada fase en función de una indicación de la corriente de fases, que indica un desarrollo linealizado de la corriente de fases a aplicar entre la corriente de fases predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al comienzo de la ventana de tiempo predeterminada y la corriente de fases predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al final de la ventana de tiempo predeterminada.

De acuerdo con otro aspecto, está previsto un producto de programa de ordenador, que contiene un programa de ordenador que, cuando se ejecuta en una unidad de procesamiento de datos, ejecuta el procedimiento indicado anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describen en detalle formas de realización para un procedimiento y un dispositivo para el

funcionamiento de una máquina eléctrica con la ayuda de los dibujos adjuntos. En este caso:

La figura 1 muestra una sección transversal a través de una máquina síncrona.

Las figuras 2a y 2b muestran un circuito de excitación bifásico y trifásico, respectivamente, para máquinas síncronas.

5 La figura 3 muestra las curvas de una tensión de las fases, de una corriente de las fases así como de una concatenación del flujo relacionada con las fases para la ilustración de la hipótesis como base del procedimiento para el funcionamiento del motor sincronizado.

La figura 4 muestra un diagrama para la representación de la tensión de las fases de las corrientes de las fases de la tensión inducida así como de la concatenación del flujo relacionada con las fases para una máquina síncrona
10 ejemplar durante la aplicación del procedimiento para el funcionamiento de la máquina síncrona.

Descripción de forma de realización

En la figura 1 se representa una representación esquemática de la sección transversal de una máquina síncrona 1. La máquina síncrona 1 comprende una disposición de estator 2 con una escotadura de forma circular, en la que un rotor 4 está dispuesto concéntricamente alrededor de un árbol de rotor de forma móvil giratoria. La disposición de estator 2 presenta en el ejemplo mostrado 12 dientes de estator 3 dirigidos radialmente hacia dentro. También son
15 posibles otros números de dientes de estator 3.

Los dientes de estator 3 de la disposición de estator 2 están provistos, respectivamente, con bobinas de estator 7. De acuerdo con el número de fases P1, P2, P3 de la máquina síncrona 1, las bobinas de estator 7 están conectadas en dos, tres o más de tres grupos en circuito en estrella o bien en circuito en triángulo entre sí (no se muestra), para
20 posibilitar un funcionamiento polifásico de la máquina síncrona 1. Las conexiones posibles de las bobinas de estator 7 se conocen a partir del estado de la técnica y no se describen aquí en detalle.

En el ejemplo de realización mostrado, el rotor 4 presenta 14 imanes permanentes 5, de manera que se forman los polos de rotor correspondientes, que se identifican con "S" y "N". El campo magnético de excitación formado por los polos el rotor está dirigido radialmente hacia fuera. También se pueden prever otros números de imanes
25 permanentes y/o polos del rotor.

A través de la activación adecuada de las bobinas del rotor 7 se pueden generar campos magnéticos, que interactúan con los campos magnéticos generados por los imanes permanentes 5 el rotor 4 y de esta manera accionan el rotor 4.

La máquina síncrona 1 representada en la figura 1 se describe solamente a modo de ejemplo y en conexión con el procedimiento descrito a continuación, en general, cualquier máquina eléctrica, que presenta una disposición de estator con bobinas de estator, se puede accionar con el procedimiento de funcionamiento.
30

La activación de las bobinas del estator 7 se realiza con la ayuda de un circuito de excitación, a través del cual se aplica, respectivamente, una tensión de fases adecuada en las bobinas de estator 7 correspondientes o bien en la interconexión correspondiente de bobinas de estator 7. En las figuras 2a y 2b se representan dos ejemplos posibles de circuitos de excitación.
35

En la figura 2a se muestra un circuito de excitación 2H, con el que se puede accionar una máquina síncrona de dos fases. El circuito de excitación 2H presenta dos circuitos de puente H que pueden ser activados por separado, que están constituidos por dos conmutadores de semiconductores de potencia T1, T2; T3, T4; T5, T6; T7, T8 conectados en serie. Entre nodos entre los conmutadores de semiconductores de potencia de dos circuitos en serie, respectivamente, de cada circuito de puente H se toma una tensión de fases asociada.
40

En detalle, un primero de los circuitos de puente H 11 comprende un primer transistor de potencia T1, cuya primera conexión está conectada con un potencial de alimentación alto V_H y cuya segunda conexión está conectada con un primer nodo de salida A. Un segundo transistor de potencia T2 está conectado con una primera conexión con el primer nodo de salida A y con una segunda conexión con una potencia de alimentación bajo V_L . El segundo circuito en serie del circuito de puente H 11 está constituido de forma similar con los transistores de potencia T3, T4, entre los que está previsto un nodo B como segunda conexión de salida. El segundo circuito de puente H 11 está constituido igualmente de forma similar al primer circuito de puente H 11 con dos circuitos en serie con los transistores de potencia T5 a T8.
45

Con la ayuda de un aparato de control 15 se activan los conmutadores de semiconductores de potencia T1 a T8 individuales. Para la preparación de una tensión de fases en las salidas de las fases respectivas de los circuitos de puente H 11, a través del cierre (conmutación, conexión conductora) del primer conmutador de semiconductores de potencia T1 y del cuarto conmutador de semiconductores de potencia T4 y con el segundo y el tercer conmutadores de semiconductores de potencia abiertos se puede aplicar la tensión de alimentación positiva U_{DC} y a través del
50

5 cierre del segundo y tercer conmutadores de semiconductores de potencia T2, T3 y con el primero y el cuarto conmutadores de semiconductores de potencia T1, T4 abiertos se puede aplicar una tensión de alimentación negativa $-U_{DC}$. Para la preparación de una tensión de 0V como tensión de fases en la salida del circuito de puente H 11 o bien se pueden conmutar el primero y el tercer conmutadores de semiconductores de potencia T1, T3 (con los conmutadores de semiconductores de potencia T2 y T4 abiertos) o se pueden cerrar el segundo y el cuarto conmutadores de semiconductores de potencia con los conmutadores de semiconductores de potencia T1 y T3 abiertos.

10 Las tensiones de fases con niveles de la tensión entre la tensión de alimentación positiva U_{DC} y la tensión de alimentación negativa $-U_{DC}$ se pueden generar a través de una activación adecuada de los conmutadores de semiconductores de potencia T1 – T8 por ejemplo de acuerdo con un procedimiento de modulación de la anchura del impulso ejecutado a través del aparato de control 15. En este caso, dentro de una duración periódica predeterminada, que es claramente menor que la duración de tiempo, durante la que debe aplicarse una tensión constante de las fases, por ejemplo durante una primera ventana de tiempo dentro de la duración periódica, se aplica la tensión de alimentación positiva U_{DC} y durante una segunda ventana de tiempo hasta el final de la duración periódica se aplica la tensión de 0V en la salida del circuito de puente H 11. La relación de exploración, es decir, la relación de la duración de tiempo de la primera ventana de tiempo con respecto a la duración periódica (suma de la duración de la primera ventana de tiempo y de la segunda ventana de tiempo) determina la tensión efectiva de las fases, aplicada en la salida del circuito de puente H 11.

20 En la figura 2b se representa otro circuito de excitación en una topología-B6. El circuito de excitación de la topología-B6 sirve para la activación de una máquina síncrona trifásica. El circuito de excitación-B6 presenta tres circuitos en serie formados, respectivamente, por dos conmutadores de semiconductores de potencia T1 a T6, de manera que el nodo que se encuentra entre los dos conmutadores de semiconductores de potencia de un circuito en serie representa una salida de fases del circuito de excitación-B6. Estas salidas de fases son conectadas con las conexiones respectivas del motor de una máquina síncrona trifásica. El circuito de excitación-B6 se puede escalar a través de la adición de circuitos en serie para máquinas síncronas también con otro número de fases.

25 También en el circuito de excitación-B6, la tensión respectiva de las fases se puede ajustar a través del ajuste de la tensión efectiva con la ayuda de un procedimiento de modulación de la anchura del impulso ejecutado en el aparato de control 15. A partir de las tensiones de las fases se pueden calcular las diferencias de la tensión de las conexiones de las fases de la máquina síncrona 1. Las tensiones de las conexiones de las fases se pueden desplazar a continuación en la medida de una tensión idéntica adecuada, de modo que cada tensión se puede ajustar en el intervalo entre 0V y la alimentación de la tensión U_{DC} a través de la relación de exploración. La relación de exploración, con la que se activan los dos conmutadores de semiconductores de potencia de un circuito en serie, determina la tensión media aplicada en la conexión respectiva de las fases de la máquina síncrona 1.

30 Para el funcionamiento de una máquina síncrona 1 mostrada en la figura 1 es necesario ajustar un perfil determinado de la corriente para las corrientes de las fases. El perfil de la corriente indica la curva de la corriente sobre la posición del rotor de la máquina síncrona 1. El perfil de la corriente es esencialmente dependiente del punto de funcionamiento y depende especialmente del par motor que debe acondicionarse, del número actual de revoluciones así como de parámetros característicos de la máquina síncrona de manera conocida. Para esta descripción se parte de que el perfil de la corriente para la activación de la máquina síncrona 1 se predetermina por un aparato de control 15 de orden superior.

35 Para el ajuste de un perfil determinado de la corriente, con el que debe activarse la máquina síncrona, deben aplicarse determinadas tensiones de las fases en la máquina síncrona. En general, las tensiones de las fases en ventanas de tiempo sucesivas se aplican como tensiones constantes. A continuación se representa, en general, el principio para el cálculo de la corriente de las fases a aplicar en cada caso con la ayuda del esbozo de la figura 3.

40 Para una máquina de n-secciones, es decir, una máquina eléctrica con n fases, existe un vector de la corriente $I = [I_1, \dots, I_n]$, que se ajusta a través de un vector de la tensión $U = [U_1, \dots, U_n]$ de una tensión media, que se predetermina como tensión de las fases. Para la determinación de la tensión de ajuste necesaria, en la que en un perfil determinado de la corriente se pasa desde un estado 1 (I_1, α_1) (I_1 : vector de la corriente en un primer estado 1, α_1 : posición angular del rotor en el primer estado 1) a un estado 2 (I_2 : vector de la corriente en un segundo estado 2, α_2 : posición angular del rotor en el segundo estado 2), se aplica para cada fase x de la máquina eléctrica la siguiente ecuación:

$$U_x = R \cdot I_x + d\psi_x/dt \quad (1).$$

en el que x corresponde a la fase respectiva.

La integración de la ecuación (1) entre un primer instante t_1 , que corresponde al instante del estado 1, en el que el rotor de la máquina eléctrica adopta la posición angular α_1 , y el segundo instante t_2 , que corresponde al instante del estado 2, en el que el rotor (rotor) de la máquina eléctrica adopta la posición angular α_2 , da como resultado:

$$\int_{t_1}^{t_2} U_x dt = R \cdot \int_{t_1}^{t_2} I_x dt + \int_{t_1}^{t_2} d\psi_x/dt dt \quad (2)$$

5 Puesto que durante el recorrido de la integración la tensión de las fases a ajustar es constante y se adopta un desarrollo lineal para la curva de la corriente de acuerdo con el perfil de la corriente entre el primer instante y el segundo instante, se aplica de manera correspondiente:

$$U_x \Delta t = R \cdot \frac{I_2 + I_1}{2} \Delta t + \psi_x(I_2, \alpha_2) - \psi_x(I_1, \alpha_1) \quad (3).$$

Se obtiene:

$$U_x = R \cdot \frac{I_2 + I_1}{2} + \frac{\psi_x(I_2, \alpha_2) - \psi_x(I_1, \alpha_1)}{\Delta t} \quad (4).$$

10 Con el conocimiento del tiempo Δt necesario, que se necesita para pasar desde el estado 1 hasta el estado 2, se puede calcular la tensión U_x para cada fase ($x = 1, 2, \dots, n$), que conducirá desde el vector de la corriente I_1 en la primera posición angular α_1 hasta el vector de la corriente I_2 en la segunda posición angular α_2 ,

15 Si no aparecen saturaciones del circuito magnético, se puede suponer la concatenación del flujo ψ de las fases x individuales en función de la concatenación del flujo de los imanes permanentes $\psi_{pm}(\alpha)$ y de la matriz de la inductividad $L(\alpha)$ dado el caso dependiente de la posición, de la siguiente manera:

$$\psi = \psi_{pm}(\alpha) \cdot L(\alpha) \cdot I \quad (5)$$

Por ejemplo, para una máquina eléctrica trifásica se aplica:

$$\psi_1 = \psi_{pm1}(\alpha) + L_1(\alpha) \cdot I_1 + M_{12} \cdot I_2 + M_{13} \cdot I_3$$

$$20 \quad \psi_2 = \psi_{pm2}(\alpha) + L_2(\alpha) \cdot I_2 + M_{21} \cdot I_1 + M_{23} \cdot I_3$$

$$\psi_3 = \psi_{pm3}(\alpha) + L_3(\alpha) \cdot I_3 + M_{31} \cdot I_1 + M_{32} \cdot I_2$$

en las que L corresponde a la inductividad propia y M_{ab} corresponde a la inductividad de acoplamiento entre la fase a y la fase b .

25 En una máquina eléctrica simétrica, que no presente ninguna dependencia de la posición magnética característica, se pueden suponer como idénticas la inductividad propia y la inductividad de acoplamiento L, M . Independientemente del número de las fases se puede predeterminar, además, simplificando que en cada instante del cálculo, que se predetermina a través del perfil de la corriente, solamente fluyen dos corrientes en dos secciones de las fases, a saber, $I_{soll}, -I_{soll}$. Es decir, que una corriente fluye en una sección de las fases de la máquina eléctrica hacia dentro y desde otra de las secciones de las fases de la máquina eléctrica de nuevo hacia fuera. Esta simplificación posibilita calcular el flujo de la corriente en la fase impulsada con corriente de la siguiente manera:

$$30 \quad \psi_1(\alpha) = \psi_{pm1}(\alpha) + (L - M) \cdot I_{soll} \quad (7)$$

En la figura 4 se representan las curvas de tiempo de las corrientes deseadas de las fases $I_{1soll}, I_{2soll}, I_{3soll}$, de la

tensión inducida U_{ind} de la tensión de la primera fase y del flujo ψ de la primera fase. En la figura 4 se predeterminan los lugares de apoyo del perfil de la corriente y se conectan entre sí a través de la línea en negrilla por medio de líneas de unión lineal, que indican la curva deseada de la corriente. Las superficies grises indican, respectivamente, la tensión de las fases aplicada durante las superficies parciales definidas por los lugares de apoyo de la corriente respectiva de las fases. La línea de trazos indica, respectivamente, la tensión inducida U_{ind} , de cada fase.

Como se deduce a partir de la figura 4, para cada lugar de apoyo se puede calcular un flujo ψ_x correspondiente de una fase. El cálculo se realiza de acuerdo con la ecuación (7) con la ayuda de la concatenación del flujo $\psi_{pmx}(\alpha)$ en función de la posición de los imanes permanentes y de la inductividad propia y la inductividad de acoplamiento L, M de la máquina eléctrica. La tensión de las fases U_x calculada a través de la ecuación (4), que se puede calcular a partir del perfil de la corriente en el caso de la previsión del perfil de la corriente o bien de los lugares de apoyo correspondientes, se puede aplicar en los instantes respectivos, que corresponden a los lugares de apoyo y puede permanecer aplicada hasta el instante del siguiente lugar de apoyo según el perfil de la corriente.

Para la implementación de un control explorado se puede calcular en el instante t_0 la posición angular estimada $\alpha\omega + T_s$ del siguiente instante de exploración. Esto se puede realizar, por ejemplo, con la ayuda de una extrapolación del número de revoluciones de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\alpha_{\omega+T_s} = \alpha_{\omega} + \omega_{t_0} \cdot T_s \quad (8)$$

en la que $\alpha\omega$ corresponde al número de revoluciones momentáneo (como velocidad angular) y T_s corresponde al periodo de tiempo entre las exploraciones. A partir de ello se puede calcular el siguiente vector de la corriente teórica $I_{\omega+T_s}$ de acuerdo con el perfil predeterminado de la corriente. El perfil de la corriente se puede predeterminar de acuerdo con la Tabla de consulta o de acuerdo con una función dependiente del punto de funcionamiento.

El vector de la concatenación de flujo teórico $\psi_{\omega+T_s}$ se puede determinar entonces con la siguiente ecuación:

$$\psi_{\omega+T_s} = \psi_{pm1}(\alpha_{\omega+T_s}) + (L(\alpha_{\omega+T_s}) \cdot I_{\omega+T_s}$$

Puesto que la diferencia de tiempo Δt se equipara con el periodo de exploración T_s en la ecuación (4), se obtiene la siguiente ecuación:

$$U_{t_0} = R \cdot \frac{I_{t_0} + I_{\omega+T_s}}{2} + \frac{\psi_{\omega+T_s}(I_{\omega+T_s}, \alpha_{\omega+T_s}) - \psi_{t_0}(I_{t_0}, \alpha_{t_0})}{T_s}$$

Para la determinación de la tensión de las fases en el instante t_0 en el procedimiento mencionado anteriormente solamente son necesarias, por lo tanto, informaciones sobre la concatenación del flujo $\psi_{pmx}(\alpha)$ de los imanes permanentes y la inductividad $L(\alpha)$, que dependen solamente de una posición del rotor a determinar con la ayuda de un detector de la posición, sobre los dos lugares de apoyo de la corriente de las fases en los instante t_0 y t_0+T_s de acuerdo con el perfil predeterminado de la corriente, así como de la resistencia del arrollamiento R.

La idea del procedimiento descrito anteriormente consiste en calcular a través de la previsión de un perfil de la corriente y a través de hipótesis de aproximación adecuadas una tensión de las fases, que se aplica durante una ventana de tiempo de longitud definida como tensión constante. Las hipótesis simplificadoras son, por ejemplo, que la curva de la corriente se supone como lineal de acuerdo con el perfil de la corriente entre dos lugares de apoyo sucesivos y que la tensión aplicada entre los dos lugares de apoyo es constante.

A través de otras simplificaciones, como por ejemplo a través de la hipótesis de que la inductividad propia y la inductividad de acoplamiento L, M son independientes de la posición y son idénticas para cada fase y de que la concatenación del flujo de los imanes permanentes ψ_{PM} solamente depende de la posición angular y, por lo demás, no depende de puntos de funcionamiento de la máquina eléctrica, se puede calcular la tensión de las fases a aplicar con la ayuda de la ecuación convencional del motor. Esto posibilita de manera mejorada ajustar, sin realización de una regulación de la corriente, un perfil de la corriente en una máquina eléctrica solamente a través de un control.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para el funcionamiento de una máquina eléctrica polifásica (1) a través de la aplicación de tensiones de fases (U_x) variables con las siguientes etapas:

- 5 - preparación de un perfil de la corriente de fases, que indica para cada fase de la máquina eléctrica (1) una curva dependiente de la posición del rotor de la corriente de fases respectiva (I_x);
- cálculo de la tensión de fases (U_x) constante a aplicar durante una ventana de tiempo predeterminada para cada fase en función de una indicación de la corriente de fases, que indica un desarrollo linealizado de la corriente de fases (I_x) a aplicar entre la corriente de fases (I_x) predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al comienzo de la ventana de tiempo predeterminada y la corriente de fases (I_x) predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al final de la ventana de tiempo predeterminada, en el que la tensión de las fases (U_x) a aplicar para cada fase se calcula, además, en función de una modificación estimada de un flujo magnético (ψ_x) respectivo, en el que las modificaciones de los flujos magnéticos (ψ_x) se calculan con la ayuda de las corrientes de fases (I_x) predeterminadas a través del perfil de la corriente de fases.

15 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la curva de la corriente de fases (I_{Soll}) en la ventana de tiempo predeterminada se indica como valor medio de la corriente de fases (I_x) en la ventana de tiempo predeterminada.

20 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que se calcula el valor medio de la corriente de fases (I_x) a aplicar durante la ventana de tiempo predeterminada de una fase, sumando y dividiendo por dos la corriente de las fases (I_x) predeterminada a través el perfil de la corriente de las fases al comienzo de la ventana de tiempo y la corriente de fases (I_x) predeterminada a través del perfil de la corriente de las fases al final de la ventana de tiempo.

4.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la indicación de la corriente de fases corresponde a una corriente de fases (I_x) de la fase al final de la ventana de tiempo.

25 5.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la modificación de un flujo magnético (ψ_x) se estima, además, en función de la posición del rotor.

6.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la modificación de un flujo magnético (ψ_x) se calcula como diferencia entre un flujo magnético (ψ_x) estimado al final de la ventana de tiempo predeterminada y un flujo magnético (ψ_x) estimado al comienzo de la ventana de tiempo predeterminada.

30 7.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 4, en el que se determina una posición de un rotor (4) de la máquina eléctrica (1), calculando la modificación de un flujo magnético (ψ_x) asociado a una de las fases a través de la suma de una concatenación de los flujos magnéticos (ψ_x) de los imanes permanentes (5), que dependen de la posición del rotor, y de los flujos magnéticos (ψ_x) provocados por los arrollamientos de las fases (7) alimentados con corriente, que dependen de la posición del rotor y de la corriente de las fases (I_x) de la fase, siendo estimados los flujos magnéticos (ψ_x) provocados por los arrollamientos de las fases (7) alimentados con corriente con la ayuda de las corrientes de las fases (I_x), predeterminadas por el perfil de la corriente de las fases, de la fase.

8.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que durante el cálculo de la modificación del flujo magnético (ψ_x) asociado a una de las fases se omiten los flujos magnéticos (ψ_x) provocados por los arrollamientos de las fases (7) alimentados con corriente, cuando el número de revoluciones no alcanza un valor umbral del número de revoluciones.

40 9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 7, en el que la tensión de las fases (U_x) a aplicar de una fase se calcula como modificación de un flujo magnético (ψ_x) asociado a la fase dividido por la duración de tiempo de la ventana de tiempo predeterminada.

45 10.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 7, en el que la tensión de las fases (U_x) a aplicar de una fase se calcula como la suma de la modificación de un flujo magnético (ψ_x) asociado a la fase dividida por la duración de tiempo de la ventana de tiempo predeterminada y el producto del valor medio de la corriente de las fases (I_x) a aplicar durante la ventana de tiempo predeterminada de la fase con una resistencia de arrollamiento.

11.- Dispositivo para el funcionamiento de una máquina eléctrica polifásica (1) a través de la preparación de tensiones de fases (U_x) variables, que está configurado para

- 50 - preparar un perfil de la corriente de fases, que indica para cada fase de la máquina eléctrica una curva dependiente de la posición del rotor de la corriente de fases respectiva (I_x);
- calcular la tensión de fases (U_x) constante a aplicar durante una ventana de tiempo predeterminada para

- 5 cada fase en función de una indicación de la corriente de fases, que indica un desarrollo linealizado de la corriente de fases a aplicar entre la corriente de fases (I_x) predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al comienzo de la ventana de tiempo predeterminada y la corriente de fases (I_x) predeterminada a través del perfil de la corriente de fases de la fase al final de la ventana de tiempo predeterminada y, además, calcular la tensión de las fases a aplicar para cada fase en función de una modificación estimada de un flujo magnético (ψ_x) respectivo, en el que las modificaciones de los flujos magnéticos (ψ_x) se calculan con la ayuda de las corrientes de fases (I_x) predeterminadas a través del perfil de la corriente de fases.
- 10 12.- Producto de programa de ordenador, que contiene un programa de ordenador que, cuando se ejecuta en una unidad de procesamiento de datos, ejecuta un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10.

Fig. 1

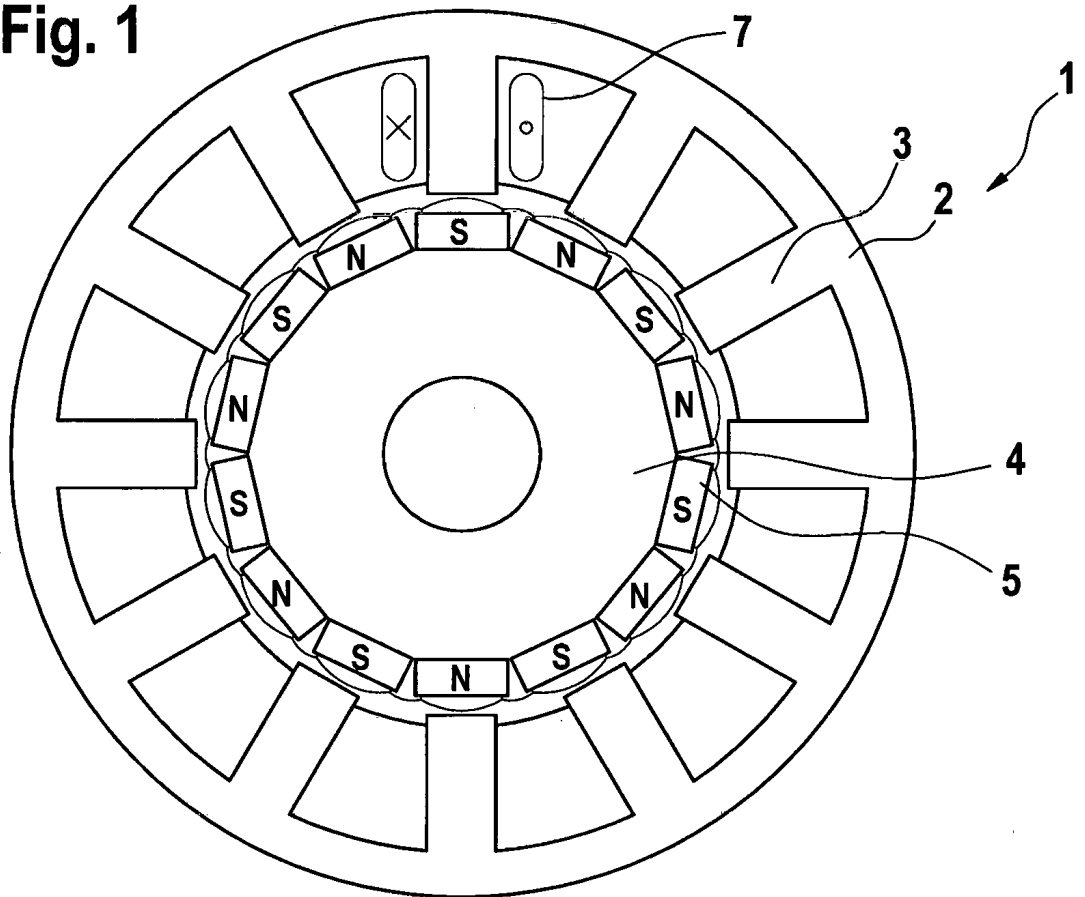


Fig. 2a

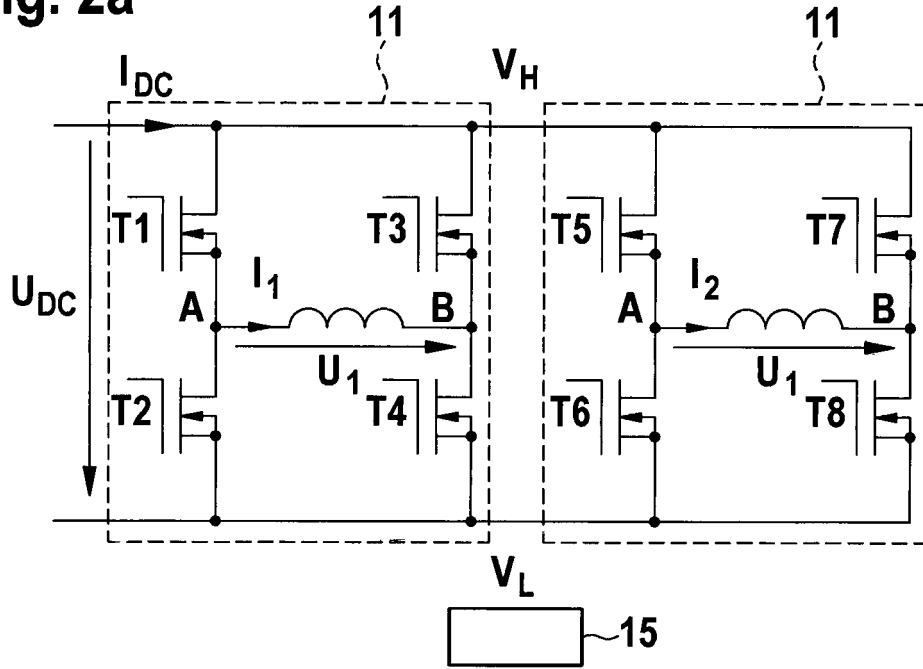


Fig. 2b

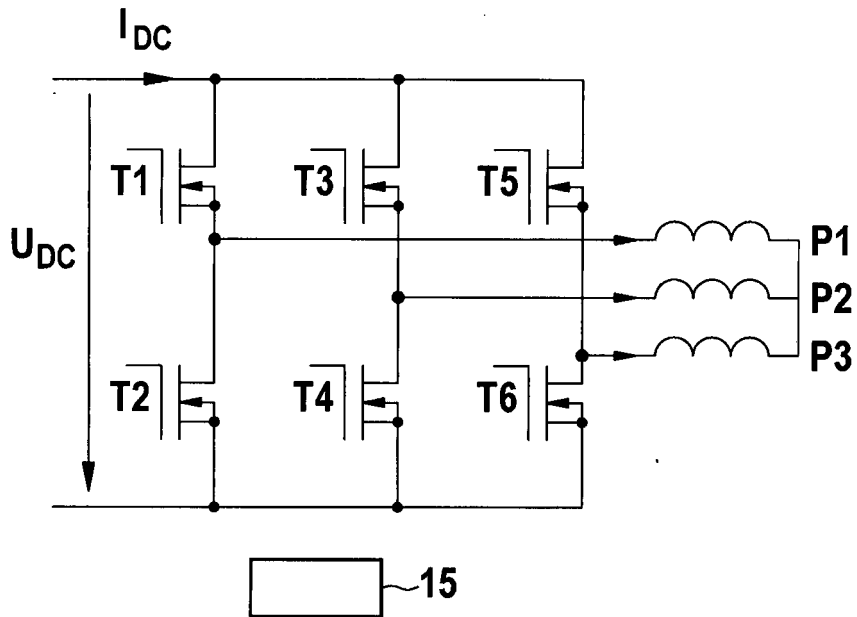


Fig. 3

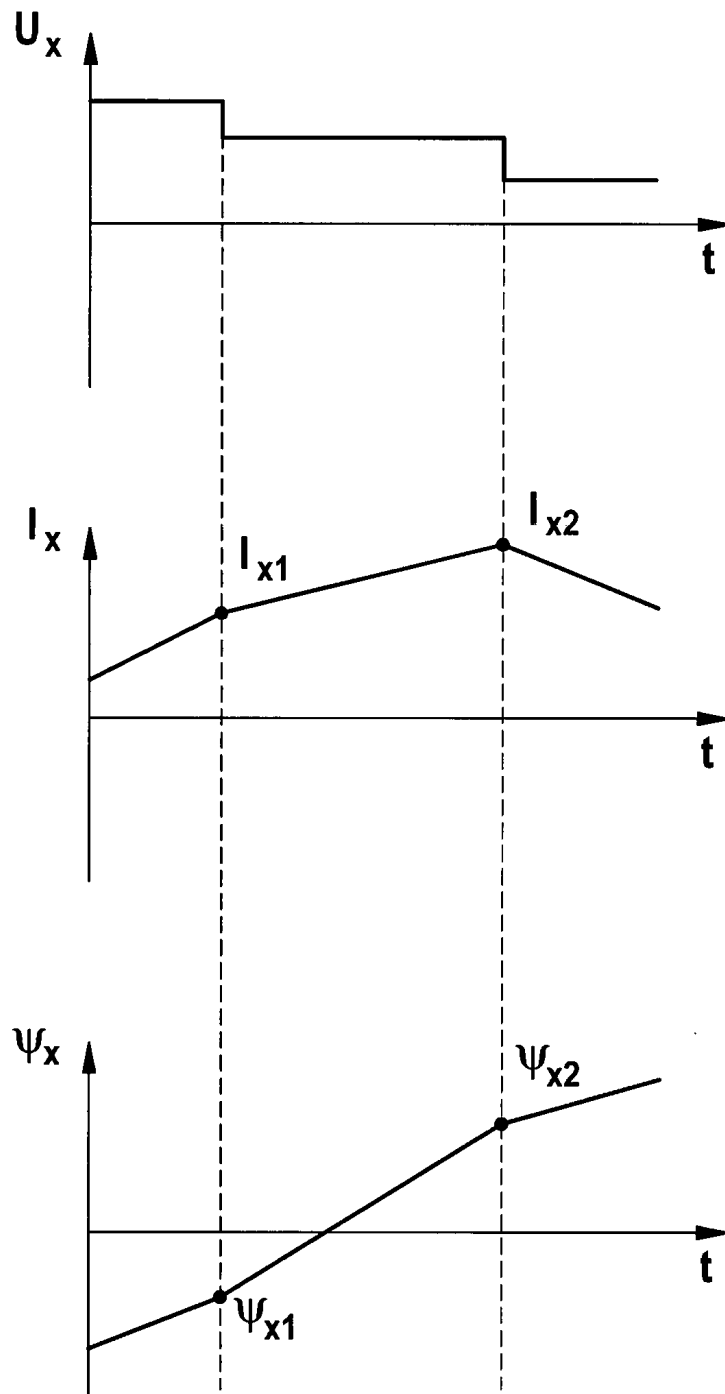


Fig. 4

