

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 144**

51 Int. Cl.:

H02P 1/46 (2006.01)

H02P 25/02 (2006.01)

H02P 6/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2009 E 09749064 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.11.2014 EP 2347502**

54 Título: **Método para operar motores síncronos y dispositivo correspondiente**

30 Prioridad:

17.11.2008 DE 102008057701

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

20.01.2015

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**BENECKE, MARCEL y
RUNGGALDIER, DIETHARD**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 527 144 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para operar motores síncronos y dispositivo correspondiente

5 La presente invención hace referencia a un método y a un dispositivo correspondiente para operar motores síncronos con reguladores trifásicos que se encuentran conectados a una red de corriente trifásica, preferentemente sin conexión de los puntos neutros desde el devanado del estator y de la red de corriente trifásica, y que presenta al menos tres elementos de conmutación del semiconductor, por ejemplo tiristores conmutados de forma antiparalela, los cuales son activados en instantes determinados. En el documento US 2003146722 se describe el funcionamiento de un motor de corriente trifásica en un regulador trifásico con diferentes frecuencias.

10 Los motores síncronos de corriente trifásica sin jaula de arranque por principio se encuentran vinculados a la frecuencia de la red de corriente trifásica de alimentación. Por lo tanto, un arranque, es decir una aceleración de los motores de ese tipo, no es posible directamente en la red. Más bien, entre la red de corriente trifásica y la máquina síncrona se necesita un dispositivo que genere una tensión de frecuencia variable. Para ello por lo general se utiliza un convertidor de frecuencia. El convertidor de frecuencia se compone de un rectificador, de un circuito intermedio (condensador) y de un convertidor.

15 Es objeto de la presente invención proporcionar un método y un dispositivo con el cual sea posible operar una máquina síncrona en una red de corriente trifásica con una inversión muy reducida en cuanto a los componentes electrónicos de potencia. Debe posibilitarse en especial también el arranque de la máquina síncrona.

20 Este objeto se alcanzará a través de un método operativo según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se indican perfeccionamientos. En la reivindicación 12 se indica un dispositivo correspondiente para controlar un motor síncrono en correspondencia con el método acorde a la invención.

25 En el método acorde a la invención para operar un motor síncrono se utiliza un regulador trifásico. El regulador trifásico está conectado a una red de corriente trifásica. De manera preferente, los puntos neutros del devanado del estator del motor síncrono y de la red de corriente trifásica no se encuentran conectados. El regulador trifásico comprende al menos tres elementos de conmutación del semiconductor, convenientemente uno de ellos por fase. Los elementos de conmutación del semiconductor pueden consistir por ejemplo en reguladores electrónicos de potencia de corriente alterna, por ejemplo como tres pares de tiristores conectados de forma antiparalela. Los reguladores electrónicos de potencia de corriente alterna son activados, así como encendidos, en instantes determinados, es decir que son conmutados de forma conductora. Con respecto a los tiristores, se considera ventajoso que éstos se desconecten por sí solos en el caso del punto cero de la corriente. Podrían utilizarse también IGBTs u otros tipos de interruptores de semiconductor.

30

35 En el método acorde a la invención se ejecutan varios pasos: se define una primera onda fundamental sinusoidal de una frecuencia, donde la frecuencia, considerando el número del par de polos, corresponde a la velocidad de rotación deseada del motor. De manera adicional se definen otras dos ondas fundamentales de la misma frecuencia. Las otras ondas fundamentales se encuentran desplazadas en cuanto a las fases con respecto a la primera onda fundamental. Para la frecuencia existen al menos dos posibilidades que pueden presentarse de forma individual o en una secuencia de tiempo:

a) la frecuencia es igual a la frecuencia de la tensión de la red, y las otras ondas fundamentales están desplazadas en 120° , así como en 240° , con respecto a la primera onda fundamental. De este modo, las ondas fundamentales forman un sistema de corriente trifásica "normal" en cuanto a su posición de las fases.

40 b) la frecuencia es igual a la mitad de la frecuencia de la tensión de la red. Además, las ondas fundamentales presentan una con respecto a otra un desplazamiento de las fases que se encuentra modificado con relación al desplazamiento de las fases de la corriente trifásica de 120° , así como de 240° . A modo de ejemplo, dos de las ondas fundamentales presentan un desplazamiento de las fases de 180° una con respecto a la otra, mientras que la tercera onda fundamental presenta un desplazamiento de las fases de 240° con respecto a la primera onda fundamental.

45

50 Asimismo, se seleccionan y utilizan puntos de activación para la activación de los tiristores, en los cuales la activación al mismo tiempo para dos de las fases causaría una corriente de la misma polaridad que aquella de la onda fundamental asociada a la respectiva fase, donde los puntos de activación se ubican en un ángulo de activación determinado después del respectivo punto cero de la tensión de la red. El término ángulo de activación se refiere por tanto a la distancia con respecto al punto cero precedente.

Por ejemplo, en el caso de la invención pueden determinarse primero todos los instantes potencialmente posibles de activación que resultan para el punto cero de la tensión encadenada con respecto al ángulo de activación. Para la activación del par de tiristores en el conductor externo A resultan por ejemplo puntos de activación potenciales

cuando la posición de las fases de la red de alimentación se encuentra alrededor del ángulo de activación antes del punto cero de la tensión encadenada U_{AB} o de la tensión encadenada U_{CA} . De manera preferente, el ángulo de activación se ubica entre 120° y 150° de acuerdo con la cantidad. Seguidamente, de los puntos de activación potenciales pueden seleccionarse aquellos en los cuales al mismo tiempo se presentan dos puntos de activación potenciales en dos de las tres fases. Expresado de otro modo, siempre se activan dos de los tres reguladores electrónicos de potencia de corriente alterna, es decir pares de tiristores. De este modo, para los pares de tiristores es posible por ejemplo activar sólo uno de los dos tiristores. De manera alternativa, pueden activarse siempre ambos tiristores de un par. Debido a esto resulta siempre un flujo de corriente desde una de las fases hacia la otra respectiva fase. Las ondas fundamentales de las dos fases utilizadas en un instante presentan por tanto en ese instante siempre polaridad opuesta.

El método descrito se realiza en particular de forma acorde al software. Por lo tanto puede implementarse con facilidad en reguladores trifásicos existentes sin una inversión adicional de componentes.

El método acorde a la invención puede ampliarse a otras frecuencias para las ondas fundamentales, donde las frecuencias son iguales a la frecuencia de la red dividida por k , donde $k \geq 1$. Junto a la frecuencia de la red y a la mitad de la frecuencia de la red pueden generarse por tanto también un tercio, un cuarto, etc. de la frecuencia de la red. Preferentemente, la posición de las fases de la primera onda fundamental se diseña de manera que el punto cero de la primera onda fundamental se ubica igual que la tensión de la red. Las posibilidades para los puntos de activación son determinadas por la posición relativa de la tensión de la red efectiva y de la respectiva onda fundamental a ser generada para la fase correspondiente, y al sincronizar una de las ondas fundamentales con la tensión de la red resultan ventajosamente muchos instantes posibles de activación.

El método acorde a la invención se considera particularmente ventajoso cuando se utiliza para arrancar el motor síncrono a su velocidad de rotación nominal. Preferentemente se utiliza una secuencia de al menos dos frecuencias que convenientemente son ascendentes. A modo de ejemplo, para el arranque de una máquina síncrona puede utilizarse una secuencia de frecuencias que respectivamente corresponde a la frecuencia de la red dividida por un divisor k , donde k atraviesa los siguientes valores: 15, 13, 11, 9, 7, 5, 4, 3, 2, 1. Preferentemente no se emplean todos los valores enteros de k entre el valor más elevado y uno. Sin embargo, debido a la distancia absoluta mayor de las frecuencias en el caso de divisores k reducidos, se considera ventajoso que se encuentren contenidos al menos un tercio, la mitad de la frecuencia de la red, así como la propia frecuencia de la red. De manera alternativa, entre el mayor divisor utilizado y el divisor $k = 1$ pueden utilizarse también todos los divisores enteros. En otra alternativa también es posible utilizar divisores no enteros.

En la conmutación entre dos frecuencias, es decir entre dos velocidades de rotación sincrónicas para la máquina síncrona, ésta debe alcanzar en un tiempo breve la velocidad de rotación incrementada. Esto se acompaña por lo general de una oscilación más o menos intensa, es decir de una variación de la velocidad de rotación del rotor en la velocidad de rotación síncrona y de una variación del rotor vinculada a ello alrededor de una posición deseada, la cual naturalmente depende del tiempo.

Para limitar la oscilación se considera ventajoso que para una conmutación entre dos frecuencias para las ondas fundamentales se determine un instante en el cual la conmutación esté acompañada por un par de fuerzas de oscilación lo más reducido posible, y que en ese instante tenga lugar la conmutación. De este modo, el instante en el cual la posición angular del rotor corresponde a su posición deseada es usado por ejemplo como el instante para la conmutación a una frecuencia más elevada. Para esta condición existen dos posibilidades. En una posibilidad, el rotor "se adelanta" a su posición deseada, es decir que rota algo más rápido que la velocidad de rotación síncrona. En la otra posibilidad rota un poco más lento, retrocediendo. Si de manera especial y preferente se utiliza la primera posibilidad, es decir que tiene lugar una conmutación cuando el rotor se adelanta a su posición angular deseada, entonces la diferencia entre su velocidad de rotación actual y la velocidad de rotación a ser alcanzada es reducida en comparación con otros instantes. Una conmutación en ese instante conduce a una oscilación reducida.

A través del funcionamiento de la máquina síncrona en el caso de un arranque muy por debajo de su velocidad de rotación nominal, a través de la rotación del rotor se genera en el estator una contratensión más reducida que en el caso del funcionamiento nominal. De este modo, en el caso de una tensión de alimentación no reducida en el estator circulan corrientes marcadamente aumentadas. Por este motivo, en el caso de una aceleración en el convertidor por lo general se realiza un seguimiento de la tensión, proporcional a la frecuencia. En el caso de un funcionamiento en el regulador trifásico preferentemente se alcanza igualmente un valor efectivo de tensión más reducido en las terminales de la máquina a través de un corte de fase modificado. Preferentemente, en el caso de divisores $k > 2$, el ángulo de activación de los tiristores es regulado de forma relativa con respecto al punto cero de la tensión de la red, de manera que la corriente circulante sea lo más reducida posible sobre la corriente nominal de la máquina síncrona. Por ejemplo, en el caso de todos los divisores $k > 4$ puede utilizarse un ángulo de activación mayor, por ejemplo de sólo 165° , mientras que en el caso de todos los otros divisores $k = 1 \dots 4$ se utiliza un ángulo de activación menor, por ejemplo de 150° .

Otra mejora para el arranque de la máquina síncrona puede lograrse regulando el ángulo de activación después de una conmutación a una frecuencia más elevada para las ondas fundamentales, de manera que se minimice el par de fuerzas de frenado para el rotor. A modo de ejemplo, para determinar el par de fuerzas puede evaluarse la posición del rotor con respecto al vector espacial de la corriente. Para ello es importante que después de la conmutación de la frecuencia de las ondas fundamentales el campo de la corriente trifásica rote más rápido que el rotor. Este efecto es particularmente marcado en el caso de divisores k reducidos, y es mayor en el caso de la conmutación de la mitad de la frecuencia de la red a la frecuencia de la red en su totalidad, es decir desde el divisor $k = 2$ al divisor $k = 1$, puesto que se presenta entonces el mayor salto absoluto de frecuencia, o sea desde la mitad de la frecuencia de la red. Especialmente en el caso de esa conmutación el rotor rota al inicio sólo aproximadamente a la mitad de rápido de como debería. Por lo tanto, de forma relativa con respecto a la posición del rotor, el vector espacial de las corrientes del estator que forman el campo giratorio atraviesan al inicio rápidamente todos los ángulos posibles, debido a lo cual junto con una aceleración del rotor se presentan también muchos instantes en los cuales el rotor incluso es frenado.

Para contrarrestar ese problema, el vector espacial de la corriente puede por ejemplo ser determinado, al mismo tiempo que la posición del rotor. Para determinar la posición del rotor puede utilizarse por ejemplo un indicador de posición que se proporciona en la máquina síncrona. Si la posición relativa se presenta de manera que puede esperarse un par de fuerzas positivo, es decir una aceleración del rotor, entonces el ángulo de activación se regula de manera que se alcance un par de fuerzas elevado. Esto tiene lugar seleccionando un ángulo de activación grande, por ejemplo de 40° . Se alcanza un par de fuerzas positivo cuando el vector espacial de la corriente, referido a la dirección de rotación, no se encuentra demasiado distanciado del rotor, por tanto, referido a la posición del rotor, cuando se ubica en el rango angular de por ejemplo 30° . A la inversa, se selecciona un ángulo de control más reducido, por ejemplo de 15° , con una tensión generada más reducida de forma correspondiente y con un par de fuerzas generado reducido, cuando el ángulo del rotor y el vector espacial de la corriente se presentan desfavorables, es decir cuando el vector espacial de la corriente sigue la posición del rotor, referido por tanto a la posición del rotor en el rango angular de por ejemplo -60° .

Un dispositivo diseñado para ejecutar el método descrito presenta un controlador trifásico de tres reguladores electrónicos de potencia de corriente alterna, es decir de pares de tiristores antiparalelos. Se proporciona además un dispositivo de control que puede ejecutar el método descrito. Para obtener los valores de entrada necesarios puede proporcionarse por ejemplo un dispositivo de medición de la tensión entre dos de las tres fases conectadas. Se considera ventajoso que una unidad de control proporcionada en la máquina síncrona, la cual convenientemente se encuentra realizada actualmente como microprocesador, se encargue de verificar el regulador trifásico. En ese caso, los datos, por ejemplo de un indicador de posición integrado en la máquina síncrona, se presentan ya de forma automática. Una máquina síncrona de este tipo puede comprender ya el regulador trifásico, es decir que puede estar realizada como unidad completa, la cual puede conectarse directamente a una red de corriente trifásica.

A continuación, mediante los dibujos, se explican en detalle ejemplos de ejecución de la invención, los cuales no deben considerarse en modo alguno de forma restrictiva. Las características se representan de forma esquemática y las características correspondientes se indican con los mismos símbolos de referencia. Las figuras muestran:

Figura 1: un dispositivo para controlar un motor síncrono aplicando el método acorde a la invención;

Figura 2: diagramas para mostrar claramente los instantes de activación;

Figura 3: diagramas para mostrar claramente los instantes de activación en el caso de la mitad de la frecuencia de la red.

En la figura 1, una máquina síncrona de corriente trifásica 1 se encuentra conectada a un regulador trifásico 4 en las fases A, B, C de una red de corriente trifásica. Un par de tiristores 2 que consta de dos tiristores 6 conectados de forma paralela se encuentra asociado a cada una de las fases. Los electrodos de activación de los tiristores 6 se encuentran conectados a un dispositivo de control 3, mediante el cual, en una secuencia temporal predeterminada, se proporcionan las señales de activación necesarias para activar los tiristores 6. El dispositivo de control 3 controla también el ángulo de corte de las fases. De manera preferente, el dispositivo de control 3 se realiza a través de un microcontrolador. Entre los conductores externos de la red, por ejemplo entre las terminales A y B de la red en la figura 1, se encuentra conectado un dispositivo de medición de la tensión 5, donde en su salida se encuentra a disposición la tensión de la red U_{AB} que se presenta entre ambas terminales A y B.

En un primer ejemplo de ejecución, el dispositivo de control 3 y el regulador trifásico 4 constituyen una unidad separada de la máquina síncrona de corriente trifásica 1, de manera que están realizados como un dispositivo separado de control del motor. En un segundo ejemplo de ejecución, el dispositivo de control 3 y el regulador trifásico 4 forman parte de la máquina síncrona de corriente trifásica 1. En este caso, de manera conveniente, las funciones del dispositivo de control 3 están integradas en un microprocesador que ya se encuentra presente en la máquina síncrona de corriente trifásica 1.

En este caso, el dispositivo de control 3 sirve para trabajar con un programa adecuado, mediante el cual el dispositivo puede operarse conforme al software utilizado. Se toma por tanto como base un método uniforme mediante el cual puede alcanzarse cualquier fracción de la velocidad de rotación nominal de la máquina síncrona de corriente trifásica 1.

5 En las figuras 2 se representa la situación que resulta cuando se utiliza por ejemplo una posibilidad de ejecución para la invención en el caso de una velocidad de rotación de 1/6 de la velocidad de rotación nominal. El diagrama parcial superior muestra una oscilación sinusoidal de la tensión U_{AB} entre la primera y la segunda fase A, B. Esta oscilación naturalmente muestra la frecuencia de la red.

10 El segundo, el tercer y el cuarto diagrama parcial muestran respectivamente las oscilaciones para las tres corrientes en las fases A, B, C. El segundo diagrama parcial desde la parte superior indica las posibles corrientes que se alcanzarían en el caso de una activación en todos los instantes posibles de activación, donde la magnitud de la corriente sólo se muestra de forma esquemática y siempre igual. De manera correspondiente con respecto a la tensión inicial en la respectiva fase son posibles pares alternados de pulsos de la corriente 8 en dirección positiva y negativa, donde entre las fases se encuentra presente un desplazamiento habitual de 120° .

15 Del mismo modo que en el tercer diagrama parcial, mostrado desde arriba, se observa en cada una de las fases una onda fundamental 7 (teórica), donde esa onda fundamental 7 posee la frecuencia que corresponde a la velocidad de rotación deseada para la máquina síncrona de corriente trifásica 1. En este caso se parte de 1/6 de la frecuencia de la red. Entre las ondas fundamentales 7 se observa para las fases por separado el desplazamiento de las fases habitual de 120° para el sistema de corriente trifásica, donde el desplazamiento de las fases se refiere a la frecuencia de la onda fundamental 7. De manera adicional con respecto a las ondas fundamentales 7, el diagrama parcial muestra solamente los instantes de activación en los cuales el flujo de corriente que se produce presenta la misma polaridad que la onda fundamental 7 en el respectivo instante de activación y en la respectiva fase. Debido a esto, aproximadamente en la mitad se suprimen los instantes posibles de activación, ya que las ondas fundamentales 7 no pueden sintetizarse a través de un flujo de corriente en la dirección incorrecta.

25 El diagrama parcial inferior muestra nuevamente las ondas fundamentales 7 para las tres fases A, B, C. De manera adicional se muestran además los pulsos de corriente 8 para aquellos instantes de activación en los cuales al mismo tiempo puede generarse un pulso de corriente 8 de la polaridad correcta en dos de las tres fases. Debido a esto se suprime otra vez una parte de los instantes de activación. Los pulsos de activación restantes que se muestran en este diagrama parcial se utilizan de manera efectiva, gracias a lo cual finalmente se sintetiza un flujo de corriente acorde a las ondas fundamentales 7.

30 Si la frecuencia es igual a la mitad de la frecuencia de la red, entonces al utilizar desplazamientos de las fases según el estándar, de 120° y 240° , entre las ondas fundamentales 7, para una de las fases, no resultarán instantes de activación potenciales con respecto a un sentido de la corriente. No obstante, si la máquina síncrona es operada de este modo, entonces ésta frena de forma análoga a un frenado con inyección de corriente continua.

35 En el caso de que se presente la mitad de la frecuencia de la red se genera por tanto otro sistema de corriente trifásica, seleccionando entre dos de las tres fases, por ejemplo entre las fases A y B, un desplazamiento de las fases de 180° , referido nuevamente a la mitad de la frecuencia de la red. En la figura 3 esto se representa junto con los instantes de activación resultantes. Para una mayor claridad, en la figura 3 los pulsos de activación que no se utilizan se muestran también en una representación con líneas punteadas.

40 En el caso de la frecuencia de la red sea igual que la frecuencia para las ondas fundamentales 7 es posible operar la máquina síncrona sin la influencia a través de los tiristores, directamente en la red. Sin embargo, para regular la corriente y la tensión un controlador de activación se utiliza también en el funcionamiento nominal. De este modo puede utilizarse nuevamente un sistema de corriente trifásica normal en cuanto a la posición de las fases de las ondas fundamentales 7, es decir una posición de las fases de 120° y 240° , de una con respecto a la otra.

45 En el presente ejemplo, para el arranque de la máquina síncrona a la velocidad de rotación nominal se utiliza una secuencia de frecuencias para las ondas fundamentales 7. En la siguiente tabla se muestra a modo de ejemplo una secuencia de frecuencias, en donde para una velocidad de rotación en r/min de una máquina síncrona se indica un respectivo divisor para la frecuencia de la red, donde la frecuencia para las ondas fundamentales 7 corresponde entonces a la frecuencia de la red dividida por el divisor:

50

Divisores	15	13	11	9	7	5	4	3	2	1
Velocidad de rotación	50	58	68	83	107	150	188	250	375	750

Puede observarse que el salto en la velocidad de rotación es elevado en particular en el caso de divisores reducidos. Mediante pruebas se ha comprobado que, en el caso de una conmutación entre la mitad de la frecuencia de la red y la frecuencia de la red como frecuencia para las ondas fundamentales 7, la máquina síncrona no puede acelerar lo suficientemente rápido y finalmente pierde el ritmo y se frena.

- 5 Para contrarrestar este problema se utiliza en este ejemplo un regulador adicional que se encarga de minimizar pares de fuerza que actúen en contra de una aceleración del rotor, de manera que según la posibilidad produzcan dentro de lo posible sólo pares de fuerzas de aceleración después de la conmutación de la frecuencia.

10 A este respecto, en este ejemplo se observa la posición del vector espacial de la corriente en el diagrama del vector del rotor. Para determinar la posición en una máquina síncrona deben conocerse por un lado la posición del rotor y por otro lado el flujo de corriente hacia las fases. Se prevé para ello por ejemplo una medición correspondiente de la corriente. En la máquina síncrona de corriente trifásica 1 se proporciona además un indicador de posición. Si en base a la posición del indicador de corriente, con respecto a la posición del rotor, resulta que se espera un par de fuerzas positivo en el sentido de una aceleración del rotor, entonces en este ejemplo el ángulo de activación se fija en un valor α_{\min} , por ejemplo de $\alpha_{\min} = 150^\circ$. Expresado de otro modo, los tiristores se activan 150° después de un punto cero de la tensión. Pueden utilizarse también otros valores para \min , por ejemplo 130° ó 110° . Sin embargo, si en base a la posición del indicador de la corriente, con respecto a la posición del rotor, se espera un par de fuerzas negativo, es decir de frenado, se selecciona entonces un ángulo de activación mayor, por ejemplo de $\alpha_{\max} = 167^\circ$. En el caso de un ángulo de activación mayor circula en total una corriente más reducida hasta desconectar el tiristor y el par de fuerzas resultante para el rotor es esencialmente más reducido.

- 20 El regulador adicional para optimizar el par de fuerzas se utiliza ante todo en el caso de la conmutación desde la mitad de la frecuencia de la red hacia la frecuencia de la red, pero produce un efecto ventajoso en todas las conmutaciones. Si la velocidad de rotación del rotor de la máquina síncrona alcanza la velocidad de rotación nominal, entonces de forma conveniente el regulador adicional para el par de fuerzas se desconecta.

25 Para aumentar en general el instante del motor la activación puede anticiparse, con lo cual para cada activación se alcanza un tiempo de flujo de corriente más prolongado. A modo de ejemplo, para la activación en general o para α_{\min} puede utilizarse un valor de 140° , 130° o también de 120° o un valor menor.

30 En el caso de divisores $k > 5$ puede influirse también sobre el ángulo de activación. En el caso de frecuencias correspondientes, es decir en el caso de velocidades de rotación inferiores, el dispositivo de control 3 prevé ángulos de activación más reducidos. A modo de ejemplo, en el caso de divisores $k > 7$ puede preverse un valor de $\alpha_{\min} = 165^\circ$, en el caso de divisores k de 4 a 7 un valor de $\alpha_{\min} = 155$ y en el caso de $k < 4$ un valor de $\alpha_{\min} = 145^\circ$. Por lo tanto, el dispositivo de control 3, en el caso de todos los divisores, regula en total convenientemente el valor para el ángulo de activación, una vez en función de la velocidad de rotación sincrónica actual, es decir de la frecuencia de las ondas fundamentales 7, y otra vez en función del par de fuerzas que se produce en el instante.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para operar una máquina síncrona (1) con un regulador trifásico (4) que se encuentra conectado a una red de corriente trifásica (A, B, C) y que presenta al menos tres elementos de conmutación del semiconductor que son conmutados de forma conductora en instantes determinados, con los siguientes pasos del método:
- definición de una onda fundamental sinusoidal (7) de una frecuencia que corresponde a la velocidad de rotación deseada de la máquina síncrona (1),
 - definición de otras dos ondas fundamentales (7) de la misma frecuencia que se encuentran desplazadas en cuanto a las fases con respecto a la primera onda fundamental (7), donde
- 10 a) en un primer caso la frecuencia es igual a la frecuencia de la tensión de la red, y las otras ondas fundamentales (7) están desplazadas en 120°, así como en 240°, con respecto a la primera onda fundamental (7), y
- b) en un segundo caso la frecuencia es igual a la mitad de la frecuencia de la tensión de la red, y las ondas fundamentales (7) presentan una con respecto a otra un desplazamiento de las fases que se encuentra modificado con relación al desplazamiento de las fases de la corriente trifásica de 120°, así como de 240°,
- 15 donde las dos posibilidades para la frecuencia se presentan de forma individual o en una secuencia de tiempo,
- selección y uso de puntos de activación para la activación, en los cuales la activación al mismo tiempo para dos de las fases (A, B, C) causaría una corriente de la misma polaridad que aquella de la onda fundamental (7) asociada a la respectiva fase (A, B, C), donde los puntos de activación se ubican en un ángulo de activación determinado después del respectivo punto cero de la tensión de la red, donde en el segundo caso de funcionamiento con la mitad de la frecuencia los puntos de activación son seleccionados de manera que se minimizan los pares de fuerzas de frenado para el rotor.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, donde un par de las ondas fundamentales (7) presenta un desplazamiento de las fases de 180° una con respecto a otra en el caso de la mitad de la frecuencia de la tensión de la red.
- 25 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, donde como frecuencia para las ondas fundamentales (7) se utiliza la frecuencia de la red dividida por k, donde $k \geq 1$.
4. Método según la reivindicación 3, donde el punto cero de la onda fundamental (7) se sincroniza con la tensión de la red.
5. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde una secuencia de al menos dos frecuencias se usa para acelerar la máquina síncrona (1) a su velocidad de rotación nominal.
- 30 6. Método según la reivindicación 5, donde en la secuencia se encuentran contenidos un tercio y la mitad de la frecuencia de la red, así como la propia frecuencia de la red.
7. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde para una conmutación entre dos frecuencias para las ondas fundamentales (7) se determina un instante en el cual la conmutación es acompañada por un par de fuerzas de oscilación lo más reducido posible, y en ese instante tiene lugar la conmutación.
- 35 8. Método según la reivindicación 7, donde el instante en el cual la posición angular del rotor corresponde a su posición deseada es usado como el instante para la conmutación a una frecuencia más elevada.
9. Método según una de las reivindicaciones 3 a 7, donde el ángulo de activación de los tiristores (6) es regulado de forma relativa con respecto al punto cero de la tensión de la red donde $k > 2$, de manera que la corriente que circula es lo más reducida posible sobre la corriente nominal de la máquina síncrona (1).
- 40 10. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde después de una conmutación a una frecuencia más elevada para las ondas fundamentales (7) los ángulos de activación son regulados de manera que se minimizan los pares de fuerzas de frenado para el rotor.
11. Método según la reivindicación 9, donde la posición del rotor con respecto al vector espacial de la corriente es evaluada para determinar la magnitud del par de fuerzas.

12. Dispositivo para operar una máquina síncrona (1), con

- un regulador trifásico (4) que puede conectarse a una red de corriente trifásica (A, B, C) y que comprende al menos tres pares (2) de tiristores (6) conectados de forma antiparalela,

5 - una unidad de control (3) para controlar los tiristores (6), la cual se encuentra diseñada para ejecutar el método según una de las reivindicaciones precedentes.

13. Dispositivo según la reivindicación 12, donde la unidad de control (3) es un microprocesador que se encuentra presente en la máquina síncrona (1).

14. Dispositivo según la reivindicación 12 ó 13, donde la máquina síncrona (1) presenta un indicador de posición.

FIG 1

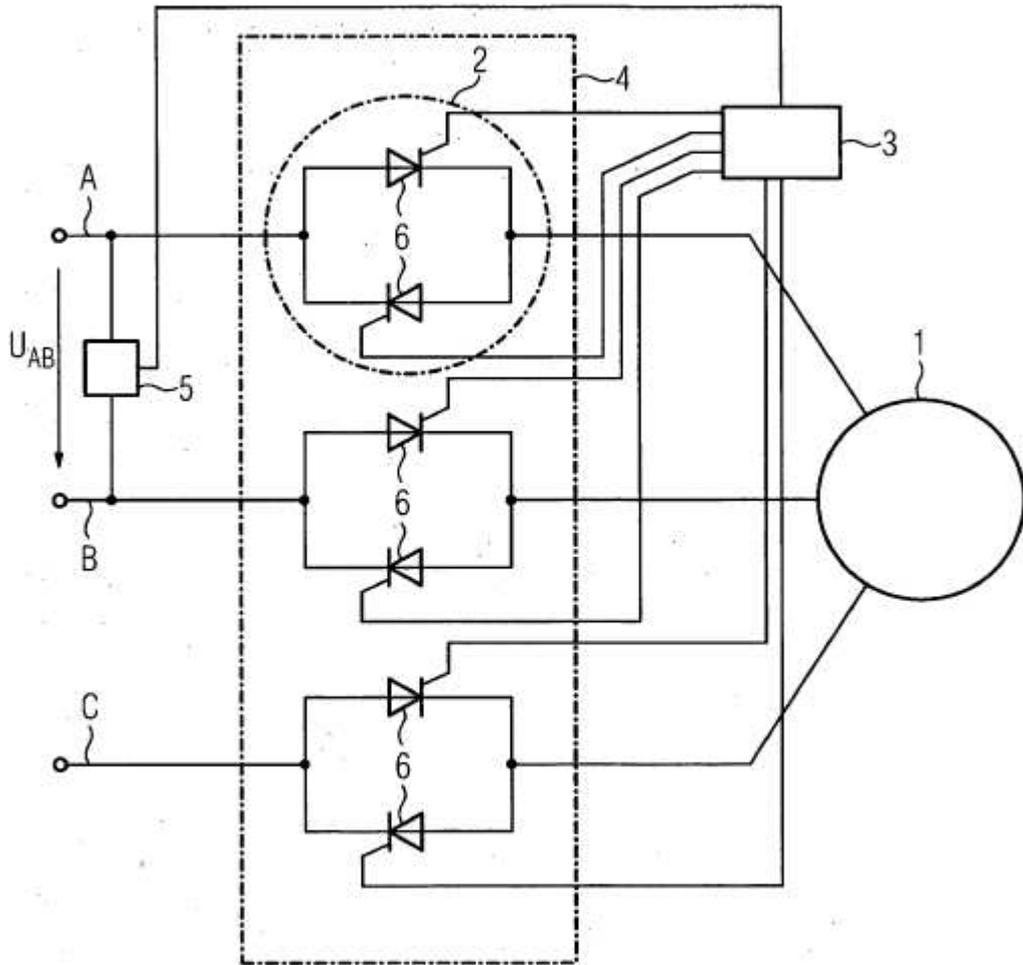


FIG 2

