

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 799**

51 Int. Cl.:

H02P 23/04 (2006.01)

H02P 23/14 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

G01R 31/00 (2006.01)

G05B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2014** **E 14153083 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019** **EP 2903153**

54 Título: **Análisis de las oscilaciones y los ruidos de una máquina eléctrica alimentada por un convertidor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.11.2019

73 Titular/es:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE

72 Inventor/es:
KARTASHOV, OLEKSANDR;
TISCHMACHER, HANS y
TSOUMAS, IOANNIS

74 Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 729 799 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

Análisis de las oscilaciones y los ruidos de una máquina eléctrica alimentada por un convertidor

La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación para determinar una función de transferencia eléctrica y al menos una mecánica de una máquina eléctrica, la cual se conecta a una red de suministro eléctrico a través de un convertidor,

- donde la función de transferencia eléctrica indica, en el caso de una excitación con una tensión de una frecuencia determinada en la máquina eléctrica, en qué medida se excita una corriente de igual frecuencia,

- donde la al menos una función de transferencia mecánica indica, en el caso de una excitación con una fuerza radial en el entrehierro de la máquina eléctrica que presenta una frecuencia determinada, en qué medida se excita en la máquina eléctrica una oscilación mecánica de igual frecuencia.

En el marco de la presente invención, se entiende por "oscilación mecánica" tanto una oscilación de un elemento de la máquina eléctrica (por ejemplo, de una carcasa o de un paquete de chapas) como una oscilación acústica en el aire que rodea a la máquina eléctrica. Para su diferenciación lingüística, el término "oscilación mecánica" se utiliza siempre a continuación como término general que comprende tanto la oscilación de un elemento de la máquina eléctrica como una oscilación acústica. Siempre que se haga referencia exclusivamente a una oscilación de un elemento de la máquina eléctrica, en lo sucesivo se utilizará el término "vibración". Las oscilaciones acústicas se denominan como tales. De manera análoga, también las funciones de transferencia correspondientes se denominan función de transferencia mecánica, vibratoria o acústica.

Asimismo, la presente invención hace referencia a un convertidor para una máquina eléctrica, a través del cual la máquina eléctrica se conecta a una red de suministro eléctrico, donde el convertidor presenta un dispositivo de control.

Además, la presente invención se refiere a un programa de control para un dispositivo de control de software programable de un convertidor del tipo mencionado, donde el programa de control comprende código máquina que es ejecutable directamente por el dispositivo de control y cuya ejecución mediante el dispositivo de control fija el modo de funcionamiento del convertidor.

Los objetos mencionados anteriormente son conocidos en general.

Durante el funcionamiento de una máquina eléctrica junto a un convertidor, adicionalmente a los inevitables ruidos del funcionamiento de la máquina eléctrica, se producen ruidos adicionales que son provocados por los componentes armónicos de la corriente. Los componentes armónicos de la corriente provocan en el entrehierro de la máquina eléctrica ondas de fuerza radial, es decir, ondas de fuerza en las que la fuerza correspondiente actúa en la dirección radial de la máquina eléctrica. Las ondas de fuerza radial son la verdadera causa de los ruidos adicionales. Los ruidos adicionales dependen en gran medida de las propiedades de la modulación del convertidor como, por ejemplo, de la frecuencia del impulso. Los ruidos adicionales se generan con independencia de si la máquina eléctrica se acciona como motor o como generador.

Los ruidos adicionales tienen su causa esencialmente en el hecho de que la tensión pulsada a través del convertidor provoca en el bobinado de la máquina eléctrica corrientes que presentan un contenido elevado de componentes armónicos. De esta forma, en el entrehierro de la máquina eléctrica se producen campos magnéticos de mayor frecuencia, los cuales conducen a ruidos provocados magnéticamente. Los campos magnéticos de mayor frecuencia también ocasionan deformaciones del paquete de chapas de la máquina eléctrica en dirección radial y hacen que oscile. Estas oscilaciones son la causa de las emisiones de ruidos adicionales. A menudo, los ruidos adicionales se producen en una medida considerable en un rango de frecuencias de entre 1 kHz y 5 kHz. El oído humano es especialmente sensible a este rango de frecuencias.

Para el análisis teórico, basado en un modelo, de los ruidos correspondientes y de su minimización posterior, no sólo deberían ser conocidas las propiedades de la excitación (es decir, los componentes armónicos de la corriente y las fuerzas radiales provocadas por ellos), sino también la función de transferencia mecánica de la máquina eléctrica. Por lo tanto, es necesario un procedimiento de determinación correspondiente.

De hecho, es posible de manera relativamente sencilla determinar la función de transferencia eléctrica, ya que para ello únicamente se tienen que medir la tensión aplicada a la máquina eléctrica y las corrientes provocadas en la máquina eléctrica por la tensión aplicada. Sin embargo, es difícil determinar las fuerzas radiales provocadas por las corrientes en el entrehierro de la máquina eléctrica mediante mediciones, ya que para ello se tendrían que medir las ondas de inducción magnética en el entrehierro. Por lo tanto, las ondas de inducción magnética se determinan a menudo en el estado de la técnica mediante ecuaciones analíticas o cálculos por medio de métodos de los elementos finitos. La función de transferencia acústica de la máquina eléctrica puede calcularse, por ejemplo, con excitación conocida mediante las ondas de fuerza radial a través de mediciones del nivel de presión acústica teniendo en cuenta la distancia del micrófono con respecto a la máquina eléctrica y otras condiciones del entorno o, aún mejor, a través de la medición directa de la potencia acústica (dado el caso, aunada a mediciones del nivel de

presión acústica). La función de transferencia vibratoria se mide habitualmente mediante un llamado análisis modal. Para este fin, se hace que la carcasa de la máquina eléctrica oscile mediante un llamado martillo modal. En el estado de la técnica, las oscilaciones provocadas se miden mediante sensores de vibraciones.

5 A partir de la tesis doctoral "Generación de ruido en máquinas asincrónicas alimentadas por un inversor y la influencia sobre el ruido mediante patrones del impulso optimizados" de T. Eilinger, Instituto Federal de Tecnología de Zúrich, 1997, se conoce un procedimiento para la medición de la función de transferencia mecánica y la acústica. En este procedimiento, los componentes armónicos se solapan con una separación entre frecuencias de 1 kHz mediante una fuente de señales trifásicas y un amplificador de potencia junto a la caja de bornes de una máquina eléctrica alimentada sinusoidalmente de la verdadera alimentación. Los componentes armónicos presentan la misma dirección de giro que la verdadera alimentación. La interacción de cada componente armónico con la oscilación fundamental provoca dos ondas de fuerza radial en el entrehierro, esto es, en cada caso una onda de fuerza radial con la suma de las dos frecuencias y la diferencia de las dos frecuencias. La onda de fuerza radial con la frecuencia diferencial es una onda de fuerza pulsante. La onda de fuerza radial con la frecuencia suma es una fuente de fuerza giratoria que presenta un número ordinal igual al doble del número de pares de polos de la oscilación fundamental. 10 En la tesis doctoral mencionada, se propone modificar la frecuencia de las ondas armónicas en cada caso en 50 Hz y medir a continuación el nivel de presión acústica para determinar la función de transferencia para los componentes pulsantes y los giratorios como función de la frecuencia. 15

El procedimiento propuesto en la tesis doctoral requiere un dispositivo adicional con amplificadores de potencia, condensadores, inductancias, etc., para la superposición de los componentes armónicos que no están presentes en el funcionamiento sinusoidal. Asimismo, el procedimiento propuesto en la tesis doctoral sólo puede ponerse en práctica en un entorno meramente de prueba en la inmensa mayoría de los casos, ya que, en las aplicaciones prácticas, las máquinas eléctricas no se alimentan sinusoidalmente, sino que son alimentadas por un convertidor. Sin embargo, la alimentación por convertidor presenta incluso componentes ya de mayor frecuencia que pueden solaparse con las excitaciones. De esta forma, el procedimiento de la tesis doctoral es de difícil aplicación en la práctica, en particular, no in situ en un sistema ya instalado con convertidor y máquina eléctrica. Asimismo, el procedimiento propuesto en la tesis doctoral es caro. 20 25

A partir del documento DE 10 2009 056 784 A1, se conoce una máquina eléctrica que es alimentada a través de un convertidor. Durante la activación de la máquina eléctrica a través del convertidor, a una señal de activación verdadera se le superpone una señal complementaria para minimizar la generación de un ruido que se produce al activarse la máquina eléctrica. En el documento DE 10 2009 056 784 A1, se explica que, para la minimización del ruido, es posible detectar el ruido que se produce mediante un micrófono y suministrárselo a un dispositivo de control para el convertidor. En esta realización, el dispositivo de control puede evaluar la señal acústica y generar la señal complementaria basándose en la evaluación. Como alternativa posible, en el documento DE 10 2009 056 784 A1 se explica la detección del ruido parásito en función de múltiples señales de activación de motor posibles y, a continuación, la determinación de una señal complementaria apropiada para la atenuación del ruido, la deducción a partir de ella de un algoritmo de regulación apropiado, y el almacenamiento del algoritmo de regulación en el dispositivo de control para el convertidor. 30 35

A partir del documento EP 2 421 148 A1, se conoce un procedimiento mediante el cual se pueden determinar parámetros magnetomecánicos de la máquina eléctrica, en particular, su momento de inercia másico, conociéndose la función de transferencia eléctrica de una máquina eléctrica. 40

El objeto de la presente invención consiste en crear posibilidades para poder determinar de manera sencilla y fiable la función de transferencia eléctrica y la mecánica también con una máquina eléctrica alimentada por un convertidor.

Dicho objeto se consigue mediante un procedimiento de determinación con las características de la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas del procedimiento de determinación según la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes 2 a 7. 45

Según la invención, se utiliza el propio convertidor en el marco de la determinación de las funciones de transferencia para la excitación de la máquina eléctrica. Las características según la invención correspondientes consisten en que

- mediante la activación correspondiente del convertidor, se efectúe una aceleración de la máquina eléctrica de un número de revoluciones inicial a un número de revoluciones final,
- 50 - con la aceleración de la máquina eléctrica, a la máquina eléctrica se le aplique una evolución de la tensión correspondiente,
- la evolución de la tensión respectiva esté determinada de tal modo que, adicionalmente a una oscilación fundamental, un espectro de la tensión correspondiente contenga con una frecuencia fundamental fracciones predeterminadas de componentes armónicos predeterminados de la frecuencia fundamental,
- 55 - mediante sensores correspondientes, se detecten al menos una evolución de la corriente respectiva correspondiente resultante y una evolución de la oscilación mecánica correspondiente resultante,

- un espectro de la corriente respectivo correspondiente se determine por medio de la evolución de la corriente respectiva y la función de transferencia eléctrica se determine por medio del espectro de la corriente respectivo y del espectro de la tensión respectivo con al menos uno de los componentes armónicos predeterminados de la frecuencia fundamental,
- 5 - un espectro de la fuerza radial respectivo correspondiente en el entrehierro de la máquina eléctrica se determine por medio del espectro de la corriente respectivo,
- un espectro de la oscilación respectivo correspondiente se determine por medio de la evolución de la oscilación mecánica respectiva detectada, y
- 10 - la al menos una función de transferencia mecánica de la máquina eléctrica se determine por medio del espectro de la fuerza radial respectivo y del espectro de la oscilación respectivo para al menos un componente armónico de la frecuencia fundamental.
- Tal y como ya se ha mencionado, la función de transferencia mecánica puede ser de manera alternativa una función de transferencia vibratoria o una acústica. Sin embargo, también es posible obviamente determinar las dos funciones de transferencia.
- 15 Por regla general, la máquina eléctrica está configurada de manera trifásica. En este caso, por principio no pueden darse los componentes armónicos cuya frecuencia se corresponda con un múltiplo entero divisible entre 3 de la frecuencia fundamental. De manera general, esto es de aplicación en una máquina trifásica para múltiplos enteros divisibles entre k de la frecuencia fundamental. Asimismo, tienen importancia aquellos componentes armónicos cuya frecuencia sea un múltiplo impar de la frecuencia fundamental.
- 20 Es ventajoso que para componentes armónicos directamente consecutivos de las tensiones sea aplicable la relación $F_2 - F_1 > 2f_1$, donde F_1 y F_2 sean las frecuencias de los dos componentes armónicos y f_1 sea la frecuencia fundamental. Mediante este *modus operandi*, se consigue que cada onda de fuerza radial excitada se excite por una única frecuencia que se dé en el espectro de la tensión.
- 25 De manera preferida, para los componentes armónicos de las tensiones es aplicable la relación $F = nf_1$, donde F es la frecuencia del componente armónico respectivo y f_1 es la frecuencia fundamental, donde n es un número natural que cumple una de las relaciones $n = 2km + 1$ y $n = 2km - 1$, donde k es el número de fases de la máquina eléctrica y m es un número natural mayor que 1. m es preferiblemente mayor que 3, mayor que 4 y, de manera particularmente preferida, mayor que 6. m puede presentar también valores aún mayores, por ejemplo, 8, 10 o 12. De este modo, se consigue una separación particularmente limpia de las oscilaciones excitadas individuales.
- 30 El espectro de la fuerza radial en el entrehierro de la máquina eléctrica comprende ondas de fuerza radial pulsantes y giratorias. Preferiblemente, para las ondas de fuerza radial pulsantes y para las giratorias se determina en cada caso una función de transferencia mecánica propia.
- En función de la posición del caso particular, la evolución de la oscilación mecánica puede ser una oscilación de un elemento de la máquina eléctrica y/o una emisión de sonido.
- 35 Es posible utilizar en el marco de la determinación de la función de transferencia eléctrica aquel espectro de la tensión que sea la base de la activación del convertidor. Como alternativa, es posible que se detecte la evolución de la tensión y que el espectro de la tensión se determine por medio de la evolución de la tensión detectada. Por lo tanto, en este caso se utiliza el espectro de la tensión real, no el espectro de la tensión esperado teóricamente.
- 40 Es posible que el procedimiento de determinación correspondiente se ejecute en un entorno de prueba. Sin embargo, el procedimiento de determinación se ejecuta preferiblemente por un dispositivo de control del convertidor en un modo de determinación del convertidor. Así, también es posible una ejecución del procedimiento de determinación *in situ*. A modo de ejemplo, el procedimiento de determinación puede ejecutarse de nuevo cada vez si el sistema compuesto por convertidor y máquina eléctrica se conecta entre sí, por lo tanto, si se produce una primera interconexión del convertidor y la máquina eléctrica o si el convertidor o la máquina eléctrica se reemplazan.
- 45 Se puede efectuar una optimización partiendo de las funciones de transferencia determinadas. La optimización tiene por lo general el objetivo de minimizar las oscilaciones de los elementos de la máquina eléctrica y/o el ruido que se genera durante el funcionamiento de la máquina eléctrica. Sin embargo, también se conciben otras optimizaciones. Es posible variar propiedades mecánicas de la máquina eléctrica a partir de la determinación de las funciones de transferencia. Sin embargo, de manera preferida, un procedimiento de optimización para la optimización de una oscilación mecánica de una máquina eléctrica, la cual se conecta a una red de suministro eléctrico a través de un convertidor, consiste de manera correspondiente a la reivindicación 8 en que
- 50 - mediante un procedimiento de determinación según la invención (tal y como se ha expuesto anteriormente) se determinen una función de transferencia eléctrica y al menos una mecánica de la máquina eléctrica, y

- en que, utilizándose las funciones de transferencia determinadas, se determine y almacene en el convertidor una evolución de la tensión optimizada respectiva de acuerdo con un criterio de optimización para las frecuencias y los grados de modulación de la máquina eléctrica.

5 Por lo tanto, en el convertidor se almacena un campo bidimensional con evoluciones de la tensión optimizadas respectivas como función de la frecuencia y del grado de modulación.

El grado G de modulación de la máquina eléctrica está definido habitualmente como

$$G = \sqrt{2} \frac{ULL}{UZK}$$

donde ULL es el valor eficaz de la onda fundamental de la tensión conductor-conductor aplicada a la máquina eléctrica y UZK es la tensión de circuito intermedio del circuito intermedio que alimenta el convertidor.

10 En el marco del procedimiento de optimización, se pueden modificar, por ejemplo, el procedimiento de modulación del convertidor, su frecuencia de conexión y el patrón de conexión.

Es posible que el procedimiento de optimización se ejecute siempre de forma no modificada. Sin embargo, de manera preferida es posible que el criterio de optimización y/o parámetros del procedimiento de determinación le sean predeterminados desde fuera a un dispositivo que ejecute el procedimiento de optimización. Esto aumenta la flexibilidad del procedimiento de optimización. Los parámetros del procedimiento de determinación pueden ser, por ejemplo, un rango de frecuencias para la oscilación fundamental de la tensión o fracciones de componentes armónicos de la tensión.

20 Es posible que el procedimiento de optimización correspondiente se ejecute en un entorno de prueba. Sin embargo, de manera preferida, el procedimiento de optimización se ejecuta por un dispositivo de control del convertidor en un modo de optimización del convertidor. En este caso, en un modo normal del convertidor, el dispositivo de control lee las evoluciones de la tensión optimizadas almacenadas en el convertidor en el modo de optimización y las utiliza. De este modo, también es posible una ejecución del procedimiento de optimización *in situ*. A modo de ejemplo (de manera análoga al procedimiento de determinación), el procedimiento de optimización puede ejecutarse de nuevo cada vez si el sistema compuesto por convertidor y máquina eléctrica se conecta entre sí, por lo tanto, si se produce una primera interconexión del convertidor y la máquina eléctrica o si el convertidor o la máquina eléctrica se reemplazan.

25 El objeto se consigue también mediante un convertidor con las características de la reivindicación 11. Las realizaciones ventajosas del convertidor según la invención son objeto de la reivindicación dependiente 12.

30 Según la invención, un convertidor del tipo mencionado al inicio se configura a través de que el dispositivo de control accione el convertidor en un modo normal o en un modo de determinación, que el dispositivo de control esté configurado como dispositivo de software programable y en el modo de determinación ejecute un procedimiento de determinación según la invención, y que el dispositivo de control lea en el modo normal las evoluciones de la tensión almacenadas en el convertidor y las utilice.

35 Preferiblemente, el dispositivo de control ejecuta el modo de determinación en el marco de un modo de optimización. En este caso, el dispositivo de control ejecuta un procedimiento de optimización según la invención en el modo de optimización. Asimismo, lee en el modo normal las evoluciones de la tensión optimizadas almacenadas en el convertidor en el modo de optimización y las utiliza.

40 Asimismo, el objeto se consigue también mediante un programa de control con las características de la reivindicación 13. Según la invención, la ejecución del código máquina ocasiona que el convertidor esté configurado según la invención.

45 El programa de control se puede suministrar al dispositivo de control por cualquier medio, por ejemplo, a través de una conexión ordenador-ordenador como una red de área local (LAN o *Local Area Network*) o internet. También son posibles otras interfaces, por ejemplo, una interfaz profibus. De manera alternativa, es posible suministrar el programa de control al dispositivo de control a través de un soporte de datos (móvil) en el que el programa de control esté almacenado de manera legible por máquina (en concreto, en forma electrónica). Sin embargo, con independencia del modo en el que el programa de control se suministre al dispositivo de control, está almacenado dentro del dispositivo de control en un soporte de datos asociado al dispositivo de control de manera fija o temporal.

50 Las propiedades, características y ventajas de esta invención descritas anteriormente y el modo en el que se consiguen se clarifican y se pueden comprender de manera más obvia en relación con la siguiente descripción de los ejemplos de realización, que se explican más detalladamente en relación con los dibujos. A este respecto, muestran en representación esquemática:

FIG 1 una máquina eléctrica alimentada por convertidor,

FIG 2 un diagrama de flujo,

FIG 3 un espectro de la tensión y un espectro correspondiente de ondas de fuerza radial,

FIG 4 una evolución de la tensión, y

FIG 5 a 7 diagramas de flujo.

5 Según la FIG 1, una máquina 1 eléctrica se conecta a una red 3 de suministro eléctrico a través de un convertidor 2. El convertidor 2 se compone, por un lado, de un convertidor 4 de corriente y, por otro lado, de un dispositivo 5 de control para el convertidor 4 de corriente. La red de suministro 3 es por lo general una red de corriente trifásica. La máquina 1 eléctrica es una máquina de corriente trifásica. El convertidor 2 está configurado como convertidor de circuito intermedio. Por lo general, mediante el convertidor 4 de corriente se efectúa una alimentación trifásica de la máquina 1 eléctrica. Sin embargo, en principio también son posibles otras alimentaciones con más de tres fases.

10 El dispositivo 5 de control está configurado por lo general como dispositivo de software programable. Por lo tanto, internamente presenta, por un lado, un procesador 6 que ejecuta un programa 7 de control. Por otro lado, el dispositivo 5 de control presenta una memoria 8 de programa en la que el programa 7 de control está almacenado de manera legible por máquina. El programa 8 de control comprende código 9 máquina, el cual es ejecutable directamente por el dispositivo 5 de control (con mayor exactitud, por su procesador 6). La ejecución del código 9 máquina mediante el dispositivo 5 de control fija el modo de funcionamiento del convertidor 2. En particular, la ejecución del código 9 máquina hace que el convertidor 2 se configure de tal modo que ejecute al menos un procedimiento de determinación, tal y como se explicará más detalladamente a continuación en relación con la FIG 2, preferiblemente también un procedimiento de optimización, tal y como se explicará a continuación en relación con la FIG 5 y, de manera particularmente preferida, un procedimiento operativo, tal y como se explicará a continuación en relación con la FIG 6.

15 En el marco del *modus operandi* de la FIG 2, se explica un procedimiento de determinación mediante el cual se determinan una función GE, GMR, GMP de transferencia eléctrica y (al menos) una mecánica de la máquina 1 eléctrica. La función GE de transferencia eléctrica indica, en el caso de una excitación con una tensión U (sinusoidal) con una frecuencia f determinada en la máquina 1 eléctrica, en qué medida y, dado el caso, con qué posición de fase, se excita una corriente I de igual frecuencia f. Las funciones GMP, GMR de transferencia mecánica indican, en el caso de una fuerza radial (sinusoidal) en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica que presenta una frecuencia f determinada, en qué medida se excita en la máquina 1 eléctrica una oscilación S mecánica de igual frecuencia f. La oscilación S mecánica puede ser, por ejemplo, una vibración de un elemento mecánico de la máquina 1 eléctrica o una emisión de sonido.

20 Con una frecuencia determinada, la fuerza radial en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica puede estar configurada de manera alternativa como onda de fuerza radial pulsante, como onda de fuerza radial giratoria, o como combinación lineal de una onda de fuerza radial pulsante y una giratoria. Por lo tanto, el espectro de la fuerza radial en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica puede comprender ondas de fuerza radial tanto pulsantes como giratorias. Una onda de fuerza radial giratoria puede tener como consecuencia una excitación diferente de una oscilación mecánica con respecto a una onda de fuerza radial pulsante de igual frecuencia. Por lo tanto, se debe diferenciar entre una función GMP de transferencia mecánica para ondas de fuerza radial pulsantes y una función GMR de transferencia mecánica para ondas de fuerza radial giratorias.

25 Para la determinación de las funciones GE, GMP, GMR de transferencia, se procede de conformidad con la FIG 2 como sigue a continuación:

30 En un paso S1, una frecuencia f1 fundamental se fija en un valor fa inicial. El valor fa inicial puede estar determinado de acuerdo con las necesidades y encontrarse, por ejemplo, en el rango de los hercios de un dígito. En un paso S2, se fijan los ángulos de conmutación con respecto a los cuales se debe conectar el convertidor 2 en cada caso. En un paso S3, se determina el espectro U(f) de la tensión correspondiente por medio de los ángulos de conmutación. En un paso S4, se comprueba si fracciones ai (i = 1, 5, 7, etc.) de componentes armónicos predeterminados de la frecuencia f1 fundamental presentan los valores deseados. El índice i indica de qué múltiplo de la frecuencia f1 fundamental se trata. La fracción a1 es, por ejemplo, la fracción de la frecuencia f1 fundamental, la fracción a5 es la fracción del cuarto componente armónico, es decir, una frecuencia que se corresponde con el quíntuplo de la frecuencia f1 fundamental, etc. Si la comprobación del paso S4 se desarrolla de manera negativa, se pasa a un paso S5. En el paso S5, se modifican los ángulos de conmutación. Entonces, se vuelve al paso S3. Si, por el contrario, la comprobación del paso S4 se desarrolla de manera positiva, se pasa a un paso S6.

35 La FIG 3 muestra un espectro U(f) de la tensión deseado de este tipo meramente a modo de ejemplo. En virtud de la definición del término "componente armónico", para cada componente armónico es de aplicación la relación $F = n f_1$. F es la frecuencia del componente armónico considerado, n un número natural. De acuerdo con la FIG 3, para cada componente armónico de la tensión U también es de aplicación la relación $n = 6m+1$ o la relación $n = 6m-1$. El número m es un número natural. Por lo tanto, sólo han de darse los múltiplos impares de la frecuencia f1 fundamental. Un espectro de este tipo se produce al menos si la evolución de la tensión con una cuarta parte del periodo de la frecuencia f1 fundamental es simétrica.

La FIG 3 muestra a la vez dos realizaciones preferidas del espectro $U(f)$ de la tensión. Las dos realizaciones preferidas pueden ponerse en práctica con independencia entre sí. Sin embargo, preferiblemente se combinan entre sí de manera correspondiente a la FIG 3.

5 Una realización preferida consiste en que para componentes armónicos directamente consecutivos de las tensiones sea aplicable la relación $F_2 - F_1 > 2f_1$. En la relación anterior, F_1 y F_2 son las frecuencias de los dos componentes armónicos considerados. Expresado de otro modo: si un componente armónico determinado, contenido en el espectro $U(f)$ de la tensión, cumple la condición $F = (6m + 1)f_1$, en el espectro $U(f)$ de la tensión no está contenido ningún componente armónico que para el mismo valor del número m cumpla la condición $F = (6m - 1)f_1$. También es de aplicación la condición excluyente inversa. Por lo tanto, de los dos componentes armónicos de los que para un valor determinado del número m cada componente armónico cumple una de las dos relaciones $F = (6m - 1)f_1$ y $F = (6m + 1)f_1$, en el espectro $U(f)$ de la tensión está contenido siempre o ningún o sólo un único componente armónico, pero no los dos componentes armónicos. No obstante, la representación de la FIG 3 según la cual en el espectro $U(f)$ de la tensión están contenidos únicamente componentes armónicos que cumplan la condición $F = (6m - 1)f_1$ es meramente a modo de ejemplo. Del mismo modo, es posible que algunos o todos los componentes armónicos contenidos en el espectro $U(f)$ de la tensión cumplan la condición $F = (6m + 1)f_1$.

La otra realización preferida consiste en que para los componentes armónicos sea aplicable la condición relativa a que m sea mayor que 1. El número m puede presentar, por ejemplo, el valor 2, el valor 3, o el valor 4. Para el número m también son posibles valores aún mayores, por ejemplo, m mayor que 6 o m mayor que 10. Sin embargo, con independencia del valor concreto del número m , al menos el 4º y el 6º componente armónico (cuyas frecuencias son iguales al quíntuplo, o bien, al séptuplo, de la frecuencia f_1 fundamental) no aparecen en el espectro $U(f)$ de la tensión.

Los ángulos de conmutación también fijan la evolución $U(t)$ temporal de la tensión correspondiente. La FIG 4 muestra (meramente a modo de ejemplo) una posible evolución $U(t)$ de la tensión. Para la determinación de la evolución $U(t)$ temporal de la tensión, por ejemplo con una cantidad dada de puntos de conexión por periodo de la evolución $U(t)$ de la tensión, se pueden determinar los tiempos de conexión óptimos, de modo que la evolución $U(t)$ temporal de la tensión resultante se corresponde tanto como sea posible con el espectro $U(f)$ de la tensión deseado.

El convertidor 2 se acciona en un paso S_6 de manera correspondiente a la evolución $U(t)$ de la tensión determinada en los pasos S_1 a S_5 . Así, el dispositivo 5 de control activa el convertidor 4 de corriente en el paso S_6 de manera correspondiente. De esta forma, a la máquina 1 eléctrica se le aplica la evolución $U(t)$ de la tensión correspondiente con la frecuencia f_1 respectiva. La activación del convertidor 2 tiene como consecuencia que la máquina 1 eléctrica gire con un número de revoluciones que dependa linealmente de la frecuencia f_1 fundamental.

En un paso S_7 , mediante sensores 10 de corriente correspondientes se detecta una evolución $I(t)$ temporal de la corriente respectiva correspondiente resultante. La evolución $I(t)$ de la corriente detectada puede suministrarse, por ejemplo, al dispositivo 5 de control. Asimismo, mediante sensores 11, 12 de oscilación correspondientes se detecta una evolución $S(t)$ de la oscilación mecánica correspondiente resultante. Como sensor 11, 12 de oscilación se tiene en consideración, por ejemplo, un sensor 11 mediante el cual se detecta directamente la vibración de un elemento mecánico de la máquina 1 eléctrica. En este caso, la evolución $S(t)$ de la oscilación mecánica detectada es una oscilación de este elemento de la máquina 1 eléctrica. Del mismo modo, como sensor 11, 12 de oscilación se tiene en consideración, por ejemplo, un micrófono 12. En este caso, la evolución $S(t)$ de la oscilación mecánica detectada es una emisión de sonido de la máquina 1 eléctrica. Es posible que de los sensores 11, 12 de oscilación sólo haya presente uno. Sin embargo, pueden estar presentes igualmente los dos sensores 11, 12 de oscilación. Además, dado el caso, también se puede detectar la evolución $U(t)$ de la tensión adicionalmente a la evolución $I(t)$ de la corriente y a la evolución $S(t)$ de la oscilación.

En un paso S_8 , se determina un espectro $I(f)$ de la corriente respectivo correspondiente (por ejemplo, mediante transformación de Fourier) por medio de la evolución $I(t)$ de la corriente detectada. En el caso de que en el marco del paso S_7 también se detecte la evolución $U(t)$ de la tensión, también el (verdadero) espectro $U(f)$ de la tensión se determina además por medio de la evolución $U(t)$ de la tensión detectada. Entonces, en un paso S_9 , se determina (por ejemplo, mediante la formación de cocientes) la función GE de transferencia eléctrica por medio del espectro $I(f)$ de la corriente respectivo y del espectro $U(f)$ de la tensión respectivo con al menos uno de los componentes armónicos predeterminados de la frecuencia f_1 fundamental respectiva. Si, por ejemplo, de manera correspondiente a la representación de la FIG 3, el espectro $U(f)$ de la tensión contiene adicionalmente a la frecuencia f_1 fundamental (*inter alia*) la fracción $a/11$ de la décima parte del componente armónico, para esta frecuencia, es decir, para once veces la frecuencia f_1 fundamental, se puede determinar la función GE de transferencia eléctrica. También son posibles modos de proceder análogos para otros componentes armónicos que estén contenidos en el espectro $U(f)$ de la tensión, por ejemplo, el 16º o el 22º componente armónico.

En interacción con la oscilación fundamental según la FIG 3, los componentes armónicos del espectro $I(f)$ de la corriente provocan en cada caso en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica una onda FRR de fuerza radial giratoria y una onda FRP de fuerza radial pulsante. Cada una de las dos ondas FRR, FRP de fuerza radial se produce con la suma de la frecuencia del componente armónico respectivo y de la frecuencia f_1 fundamental y con la diferencia de estas dos frecuencias. En el caso de que el 10º componente armónico esté contenido en el espectro $I(f)$ de la

corriente, este componente armónico presenta la dirección de giro inversa en comparación con la oscilación fundamental. En su solapamiento con la oscilación fundamental, este componente armónico provoca, por ejemplo, una onda FRR de fuerza radial giratoria con diez veces la frecuencia f_1 fundamental y una onda FRP de fuerza radial pulsante con doce veces la frecuencia f_1 fundamental. En el caso de que el 12º componente armónico esté contenido en el espectro $I(f)$ de la corriente, este componente armónico presenta la misma dirección de giro en comparación con la oscilación fundamental. En su solapamiento con la oscilación fundamental, este componente armónico provoca, por ejemplo, una onda FRR de fuerza radial giratoria con catorce veces la frecuencia f_1 fundamental y una onda FRP de fuerza radial pulsante con doce veces la frecuencia f_1 fundamental.

A partir de esta situación, también resulta obvio por qué de los dos componentes armónicos de los cuales para un valor determinado del número m en cada caso un componente armónico cumple una de las dos relaciones $F = (6m-1) f_1$ y $F = (6m+1) f_1$, o bien, en general $F = (2km+1) f_1$ y $F = (2km-1) f_1$, en el espectro $U(f)$ de la tensión no deberían estar presentes los dos componentes armónicos: si fuera éste el caso, la onda FRP de fuerza radial pulsante resultante con $6m$ veces (por lo general, $2km$ veces) de la frecuencia f_1 fundamental sería un solapamiento de la onda FRP de fuerza radial pulsante provocada por el componente armónico con $(6m-1)$ veces la frecuencia f_1 fundamental con la onda FRP de fuerza radial pulsante provocada por el componente armónico con $(6m+1)$ veces la frecuencia f_1 fundamental. Por lo tanto, las frecuencias de la oscilación S mecánica que se generan ya no podrían asociarse de manera unívoca a un componente de la corriente excitador determinado.

Las ondas FRR de fuerza radial giratorias y las ondas FRP de fuerza radial pulsantes se determinan en un paso S10. La determinación de las ondas FRR, FRP de fuerza radial es conocida como tal para los expertos en la materia. Para la determinación de las ondas FRR, FRP de fuerza radial, adicionalmente a la distribución de la corriente en el rango de frecuencias, por lo tanto, en el espectro $I(f)$ de la corriente, se requieren condiciones constructivas de la máquina 1 eléctrica. Por lo tanto, la determinación de las ondas FRR, FRP de fuerza radial se produce en el paso S10 por medio del espectro $I(f)$ de la corriente respectivo. La totalidad de las ondas FRR, FRP de fuerza radial determinadas se corresponde con un espectro FRR(f), FRP(f) de la fuerza radial en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica. Tal y como ya se ha mencionado, las ondas FRR, FRP de fuerza radial son la verdadera causa de las oscilaciones S mecánicas provocadas magnéticamente de la máquina 1 eléctrica.

En un paso S11, se determina un espectro $S(f)$ de la oscilación respectivo correspondiente por medio de la evolución $S(t)$ de la oscilación mecánica respectiva detectada. El espectro $S(f)$ de la oscilación contiene las mismas frecuencias que el espectro FRR(f), FRP(f) de la fuerza radial. Por lo tanto, es posible determinar en un paso S12 una función GMP, GMR de transferencia mecánica de la máquina 1 eléctrica por medio del espectro FRR(f), FRP(f) de la fuerza radial respectivo y del espectro $S(f)$ de la oscilación respectivo para al menos un componente armónico de la frecuencia f_1 fundamental. La determinación también se puede realizar aquí de nuevo mediante la formación del cociente.

Tal y como ya se ha mencionado, la frecuencia f_1 fundamental se corresponde con un número de revoluciones de la máquina 1 eléctrica. Como consecuencia de la conexión de la máquina 1 eléctrica a la red 3 de suministro eléctrico, el número de revoluciones de la máquina 1 eléctrica aumenta durante la ejecución de los pasos S6 a S12. Esto se reproduce en un paso S13, en el que la frecuencia f_1 fundamental se aumenta en una modificación δf de la frecuencia. Es posible que para este fin se detecte el número de revoluciones actual de la máquina 1 eléctrica. Sin embargo, también son posibles otros modos de proceder. Por lo tanto, la frecuencia f_1 fundamental y, de manera correspondiente a ésta, el número de revoluciones de la máquina 1 eléctrica, se aumentan paulatinamente.

En un paso S14, se comprueba si la frecuencia f_1 fundamental ha alcanzado un valor f_e final. Mientras que no sea éste el caso, se regresa al paso S3. De lo contrario, el *modus operandi* de la FIG 2 ha finalizado. Por lo tanto, en el marco del *modus operandi* de la FIG 2, se efectúa una aceleración de la máquina 1 eléctrica de un número de revoluciones inicial a un número de revoluciones final.

Basándose en el procedimiento de determinación explicado anteriormente en relación con la FIG 2, se puede efectuar, por ejemplo, una optimización de la máquina 1 eléctrica como tal. A modo de ejemplo, elementos determinados de la máquina 1 eléctrica podrían dimensionarse de otro modo para optimizar (por lo general, minimizar) las oscilaciones mecánicas de la propia máquina 1 eléctrica o la emisión de ruidos de la máquina 1 eléctrica. De manera alternativa o adicional, basándose en el procedimiento de determinación de la FIG 2, es posible determinar una activación optimizada del convertidor 4 de corriente en el marco de un procedimiento de optimización, basado en el procedimiento de determinación, para la optimización de una oscilación S mecánica de la máquina 1 eléctrica. A continuación, esto se explica más detalladamente en relación con la FIG 5.

De manera correspondiente a la representación de la FIG 5, en primer lugar se determinan en un paso S21 una función GE, GMP, GMR de transferencia eléctrica y al menos una mecánica de la máquina 1 eléctrica. El paso S21 se corresponde con la totalidad de los pasos S1 a S14 de la FIG 2.

En un paso S22, la frecuencia f_1 fundamental se fija en un valor f_{min} mínimo. En un paso S23, se determina una evolución $U(t)$ temporal de la tensión para la frecuencia f_1 fundamental. La determinación del paso S23 se produce utilizándose las funciones GE, GMP, GMR de transferencia. La evolución $U(t)$ de la tensión se determina de tal modo que, por un lado, provoca el funcionamiento deseado de la máquina 1 eléctrica (por ejemplo, con un número de

- 5 revoluciones determinado y un grado de modulación determinado) y, por otro lado, está optimizada de conformidad con un criterio OK de optimización predeterminado. El criterio OK de optimización puede estar determinado de acuerdo con la necesidad. Por lo general, puede estar determinado de tal modo que las oscilaciones S mecánicas de la máquina 1 eléctrica se minimicen al menos para frecuencias determinadas. La evolución U(t) de la tensión optimizada determinada en el paso S23 (o bien, los valores que la caracterizan como, por ejemplo, momentos de conexión) se almacena en el convertidor 2 en un paso S24. En particular, el almacenamiento puede realizarse en una memoria 13 del dispositivo 5 de control. El almacenamiento se efectúa en un campo bidimensional, donde cada dimensión son la frecuencia correspondiente al número de revoluciones y el grado de modulación.
- 10 En un paso S25, la frecuencia f1 fundamental se aumenta en una modificación δf de la frecuencia. La modificación δf de la frecuencia del paso S25 puede corresponderse con la modificación δf de la frecuencia del paso S11. No obstante, en principio puede determinarse con independencia de ésta. Entonces, en un paso S26 se comprueba si la frecuencia f1 fundamental ha alcanzado una frecuencia fmax máxima. Mientras que no sea éste el caso, se regresa al paso S23. De lo contrario, el *modus operandi* de la FIG 5 ha finalizado.
- 15 El procedimiento de optimización se ejecuta por un dispositivo de manera automatizada. Es posible que los parámetros del procedimiento de determinación y el criterio OK de optimización del dispositivo estén predeterminados de manera fija. Como alternativa, de manera correspondiente a la representación de la FIG 1, es posible que el criterio OK de optimización y/o parámetros del procedimiento de determinación del dispositivo sean predeterminados desde fuera. Los parámetros del procedimiento de determinación pueden ser, por ejemplo, el valor fa inicial y el valor fe final de la frecuencia f1 fundamental, la indicación de los componentes armónicos y sus fracciones ai. En el marco del criterio OK de optimización, se pueden, por ejemplo, especificar frecuencias o rangos de frecuencias determinados dentro de los cuales deba producirse una minimización de las oscilaciones S.
- 20 Es posible que el dispositivo que ejecuta el procedimiento de determinación y preferiblemente también el procedimiento de optimización sea un dispositivo de control específico para el convertidor 4 de corriente, el cual se utilice exclusivamente para este fin. Sin embargo, el dispositivo es preferiblemente el dispositivo 5 de control del convertidor 2, el cual se utiliza también en el marco de la activación normal del convertidor 4 de corriente.
- 25 Es posible que el dispositivo 5 de control sólo pueda ejecutar un funcionamiento normal y el procedimiento de determinación según la invención. En este caso, el dispositivo 5 de control acciona el convertidor 2 alternativamente en un modo de determinación o en un modo normal. En este caso, el dispositivo 15 de control comprueba en un paso S31 de acuerdo con la FIG 6 si ha de ejecutar el modo normal o el modo de determinación. A modo de ejemplo, el dispositivo 5 de control puede comprobar en el paso S31 si un modo correspondiente le es predeterminado por un usuario (no representado). Dándose ciertas circunstancias, el dispositivo 5 de control también puede reconocer de manera automática si ha de ejecutar el modo normal o el modo de determinación.
- 30 En función del resultado de la comprobación del paso S31, el dispositivo 5 de control pasa a un paso S32 o a los pasos S33 y S34. El paso S32 se corresponde con el modo de determinación. En el paso S32, el dispositivo 5 de control ejecuta el procedimiento de determinación según la invención, el cual se ha explicado anteriormente en relación con la FIG 2. Los pasos S33 y S34 se corresponden con el modo normal. En el paso S33, el dispositivo 5 de control determina (por ejemplo, por medio de instrucciones de mando que le son predeterminadas al dispositivo 5 de control por un dispositivo de rango superior) el número de revoluciones con el que se ha de accionar la máquina 1 eléctrica y, con ello, una frecuencia f1 fundamental. Asimismo, el dispositivo 15 de control determina en el marco del paso S33 un grado G de modulación. En el paso S34, el dispositivo 5 de control selecciona para la frecuencia f1 fundamental correspondiente y el grado G de modulación la evolución U(t) de la tensión optimizada correspondiente y lee esta evolución U(t) de la tensión de la memoria 13. En el paso S34, el dispositivo 15 de control utiliza la evolución U(t) de la tensión leída para la activación del convertidor 4 de corriente.
- 35 Sin embargo, el dispositivo 5 de control del convertidor 2 también está preferiblemente en situación de ejecutar el procedimiento de optimización según la invención.
- 40 En este caso, el dispositivo 5 de control acciona el convertidor 2 de acuerdo con la FIG 7 alternativamente en un modo de optimización o en el modo normal. En el modo de optimización, el dispositivo 5 de control ejecuta un procedimiento de optimización (tal y como se ha expuesto anteriormente). En este caso, el dispositivo 5 de control ejecuta el modo de determinación en el marco del modo de optimización.
- 45 Según la FIG 7, el dispositivo 5 de control comprueba en un paso S36 si ha de ejecutar el modo normal o el modo de optimización. A modo de ejemplo, el dispositivo 5 de control puede comprobar en el paso S31 si un modo correspondiente le es predeterminado por un usuario (no representado). Dándose ciertas circunstancias, el dispositivo 5 de control también puede reconocer de manera automática si se conecta por primera vez con la máquina 1 eléctrica. En este caso, la ejecución del modo de optimización puede activarse y también finalizarse de manera automatizada.
- 50 En el caso de que el dispositivo 5 de control tenga que ejecutar el modo de optimización, pasa a un paso S37. En el paso S37, el dispositivo 5 de control ejecuta un *modus operandi*, tal y como se ha expuesto anteriormente en relación con la FIG 5. El almacenamiento de las evoluciones U(t) de la tensión optimizadas para las diferentes
- 55

frecuencias fundamentales f_1 se produce en la memoria 13 en el marco del paso S37. En el caso de que el dispositivo 5 de control deba ejecutar el modo normal, pasa a los pasos S33 y S34, los cuales ya se han descrito anteriormente en relación con la FIG 6.

Por lo tanto, la presente invención hace referencia en resumen a la siguiente situación:

- 5 Mediante la activación correspondiente de un convertidor 2, a través del cual una máquina 1 eléctrica se conecta a una red 3 de suministro eléctrico, se efectúa una aceleración de la máquina 1 eléctrica de un número de revoluciones inicial a un número de revoluciones final. Con la aceleración de la máquina 1 eléctrica, a la máquina 1 eléctrica se le aplica una evolución de la tensión respectiva, cuyo espectro de la tensión correspondiente contiene fracciones predeterminadas de componentes armónicos predeterminados de la frecuencia f_1 fundamental, adicionalmente a una oscilación fundamental con una frecuencia f_1 fundamental. Las evoluciones de la corriente y de la oscilación mecánica resultantes se detectan mediante sensores 10 a 12 correspondientes. Por medio del espectro de la corriente correspondiente a la evolución de la corriente y del espectro de la tensión respectivo, se determina una función GE de transferencia eléctrica con al menos uno de los componentes armónicos de la frecuencia f_1 fundamental, la cual indica, en el caso de una excitación con una tensión U de una frecuencia f determinada en la máquina 1 eléctrica, en qué medida se excita una corriente de igual frecuencia f. Un espectro de la fuerza radial respectivo correspondiente en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica se determina por medio del espectro de la corriente respectivo. Por medio del espectro de la fuerza radial respectivo y del espectro de la oscilación correspondiente a la evolución de la oscilación mecánica, se determina al menos una función GMP, GMR de transferencia mecánica de la máquina 1 eléctrica para al menos un componente armónico de la frecuencia f_1 fundamental. La función GMP, GMR de transferencia mecánica indica, en el caso de una excitación con una fuerza FRP, FRR radial en el entrehierro de la máquina 1 eléctrica que presenta una frecuencia f determinada, en qué medida se excita en la máquina 1 eléctrica una oscilación S mecánica de igual frecuencia f.

25 La presente invención presenta muchas ventajas. En particular, tanto la función GE de transferencia eléctrica como las funciones GMP, GMR de transferencia mecánica pueden medirse con rapidez (en pocos minutos) y de manera fiable. Asimismo, no se necesita aparato adicional de ningún tipo para la ejecución del procedimiento de determinación según la invención ni para la ejecución del procedimiento de optimización según la invención. De hecho, es posible utilizar el convertidor 2 y su dispositivo 5 de control.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación para determinar una función (GE, GMP, GMR) de transferencia eléctrica y al menos una mecánica de una máquina (1) eléctrica, la cual se conecta a una red (3) de suministro eléctrico a través de un convertidor (2),
- 5 - donde la función (GE) de transferencia eléctrica indica, en el caso de una excitación con una tensión (U) de una frecuencia (f) determinada en la máquina (1) eléctrica, en qué medida se excita una corriente (I) de igual frecuencia (f),
- donde la al menos una función (GMP, GMR) de transferencia mecánica indica, en el caso de una excitación con una fuerza (FRP, FRR) radial en el entrehierro de la máquina (1) eléctrica que presenta una frecuencia (f) determinada, en qué medida se excita en la máquina (1) eléctrica una oscilación (S) mecánica de igual frecuencia (f),
- 10 - donde, mediante la activación correspondiente del convertidor (2), se efectúa una aceleración de la máquina (1) eléctrica de un número de revoluciones inicial a un número de revoluciones final,
- donde, con la aceleración de la máquina (1) eléctrica, a la máquina (1) eléctrica se le aplica una evolución (U(t)) de la tensión correspondiente,
- 15 - donde la evolución (U(t)) de la tensión correspondiente está determinada de tal modo que, adicionalmente a una oscilación fundamental, un espectro (U(f)) de la tensión correspondiente contiene, con una frecuencia (f1) fundamental, fracciones (ai) predeterminadas de componentes armónicos predeterminados de la frecuencia (f1) fundamental,
- 20 - donde, mediante sensores (10 a 12) correspondientes, se detectan al menos una evolución (I(t)) de la corriente respectiva correspondiente resultante y una evolución (S(t)) de la oscilación mecánica correspondiente resultante,
- donde un espectro (I(f)) de la corriente respectivo correspondiente se determina por medio de la evolución (I(t)) de la corriente respectiva y la función (GE) de transferencia eléctrica se determina por medio del espectro (I(f)) de la corriente respectivo y del espectro (U(f)) de la tensión respectivo con al menos uno de los componentes armónicos predeterminados de la frecuencia (f1) fundamental,
- 25 - donde un espectro (FRR(f), FRP(f)) de la fuerza radial respectivo correspondiente en el entrehierro de la máquina (1) eléctrica se determina por medio del espectro (I(f)) de la corriente respectivo,
- donde un espectro (S(f)) de la oscilación respectivo correspondiente se determina por medio de la evolución de la oscilación (S(t)) mecánica respectiva detectada, y
- 30 - donde la al menos una función (GMP, GMR) de transferencia mecánica de la máquina (1) eléctrica se determina por medio del espectro (FRR(f), FRP(f)) de la fuerza radial respectivo y del espectro (S(f)) de la oscilación respectivo para al menos un componente armónico de la frecuencia (f1) fundamental.
2. Procedimiento de determinación según la reivindicación 1, caracterizado porque para componentes armónicos directamente consecutivos de la tensión (U) es aplicable la relación $F_2 - F_1 > 2f_1$, donde F1 y F2 son las frecuencias de los dos componentes armónicos y f1 es la frecuencia (f1) fundamental.
- 35 3. Procedimiento de determinación según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque para los componentes armónicos de la tensión (U) es aplicable la relación $F = nf_1$, donde F es la frecuencia del componente armónico respectivo y f1 es la frecuencia (f1) fundamental, donde n es un número natural que cumple las relaciones $n = 2km + 1$ y $n = 2km - 1$, donde k es el número de fases de la máquina (1) eléctrica y m es un número natural mayor que 1.
- 40 4. Procedimiento de determinación según la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado porque el espectro (FRR(f), FRP(f)) de la fuerza radial en el entrehierro de la máquina (1) eléctrica comprende ondas (FRP, FRR) de fuerza radial pulsantes y giratorias y porque para las ondas (FRP, FRR) de fuerza radial pulsantes y para las giratorias se determina en cada caso una función (GMP, GMR) de transferencia mecánica propia.
- 45 5. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la evolución (S(t)) de la oscilación mecánica es una oscilación de un elemento de la máquina (1) eléctrica y/o una emisión de sonido.
6. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se detecta la evolución (U(t)) de la tensión y, por medio de la evolución (U(t)) de la tensión detectada, se determina el espectro (U(f)) de la tensión.
- 50 7. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se ejecuta por un dispositivo (5) de control del convertidor (2) en un modo de determinación del convertidor (2) y porque, en un

modo normal del convertidor (2), el dispositivo (5) de control lee las evoluciones (U(t)) de la tensión optimizadas almacenadas en el convertidor (2) y las utiliza.

8. Procedimiento de optimización para la optimización de una oscilación (S) mecánica de una máquina (1) eléctrica, la cual se conecta a una red (3) de suministro eléctrico a través de un convertidor (2),

5 - donde mediante un procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones anteriores se determina una función (GE, GMP, GMR) de transferencia eléctrica y al menos una mecánica de la máquina (1) eléctrica (1) y

- donde, utilizándose las funciones (GE, GMP, GMR) de transferencia determinadas, se determina y almacena en el convertidor (2) una evolución (U(t)) de la tensión optimizada respectiva de acuerdo con un criterio (OK) de optimización para las frecuencias (f1) y los grados (G) de modulación de la máquina (1) eléctrica.

10 9. Procedimiento de optimización según la reivindicación 8, caracterizado porque el criterio (OK) de optimización y/o parámetros (fa, fi, ai) del procedimiento de determinación le son predeterminados desde fuera a un dispositivo (5) que ejecuta el procedimiento de optimización.

15 10. Procedimiento de optimización según la reivindicación 8 o 9, caracterizado porque se ejecuta por un dispositivo (5) de control del convertidor (2) en un modo de optimización del convertidor (2) y porque, en un modo normal del convertidor (2), el dispositivo (5) de control lee las evoluciones (U(t)) de la tensión optimizadas almacenadas en el convertidor (2) en el modo de optimización y las utiliza.

20 11. Convertidor para conectar una máquina (1) eléctrica a una red (3) de suministro eléctrico, donde el convertidor presenta un dispositivo (5) de control, caracterizado porque el dispositivo (5) de control acciona el convertidor en un modo normal o en un modo de determinación, porque el dispositivo (5) de control está configurado como dispositivo de software programable, comprendiendo medios para la ejecución de un procedimiento de determinación según la reivindicación 7 en el modo de determinación, y porque el dispositivo (5) de control lee en el modo normal las evoluciones (U(t)) de la tensión almacenadas en el convertidor y las utiliza.

25 12. Convertidor según la reivindicación 11, caracterizado porque el dispositivo (5) de control ejecuta el modo de determinación en el marco de un modo de optimización, porque el dispositivo (5) de control presenta medios para la ejecución de un procedimiento de optimización según la reivindicación 10 en el modo de optimización, y porque el dispositivo (5) de control lee en el modo normal las evoluciones (U(t)) de la tensión optimizadas almacenadas en el convertidor en el modo de optimización y las utiliza.

30 13. Programa de control para un dispositivo (5) de control de software programable de un convertidor (2) según una de las reivindicaciones 11 o 12, donde el programa de control comprende código (9) máquina que es ejecutable directamente por el dispositivo (5) de control y cuya ejecución mediante el dispositivo (5) de control fija el modo de funcionamiento del convertidor (2), donde la ejecución del código (9) máquina ocasiona que el convertidor (2) esté configurado de acuerdo con la reivindicación 11 o 12.

FIG 1

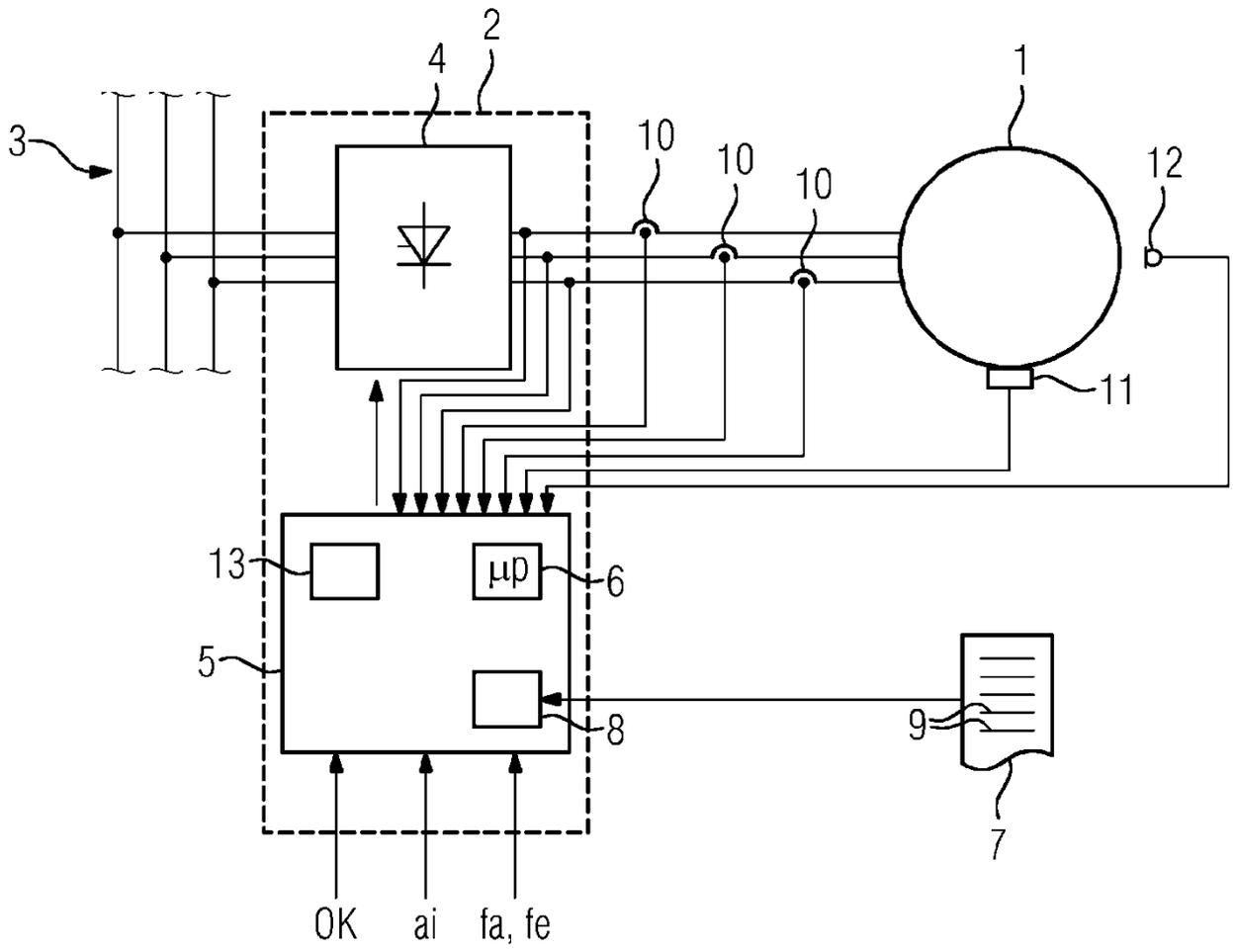


FIG 2

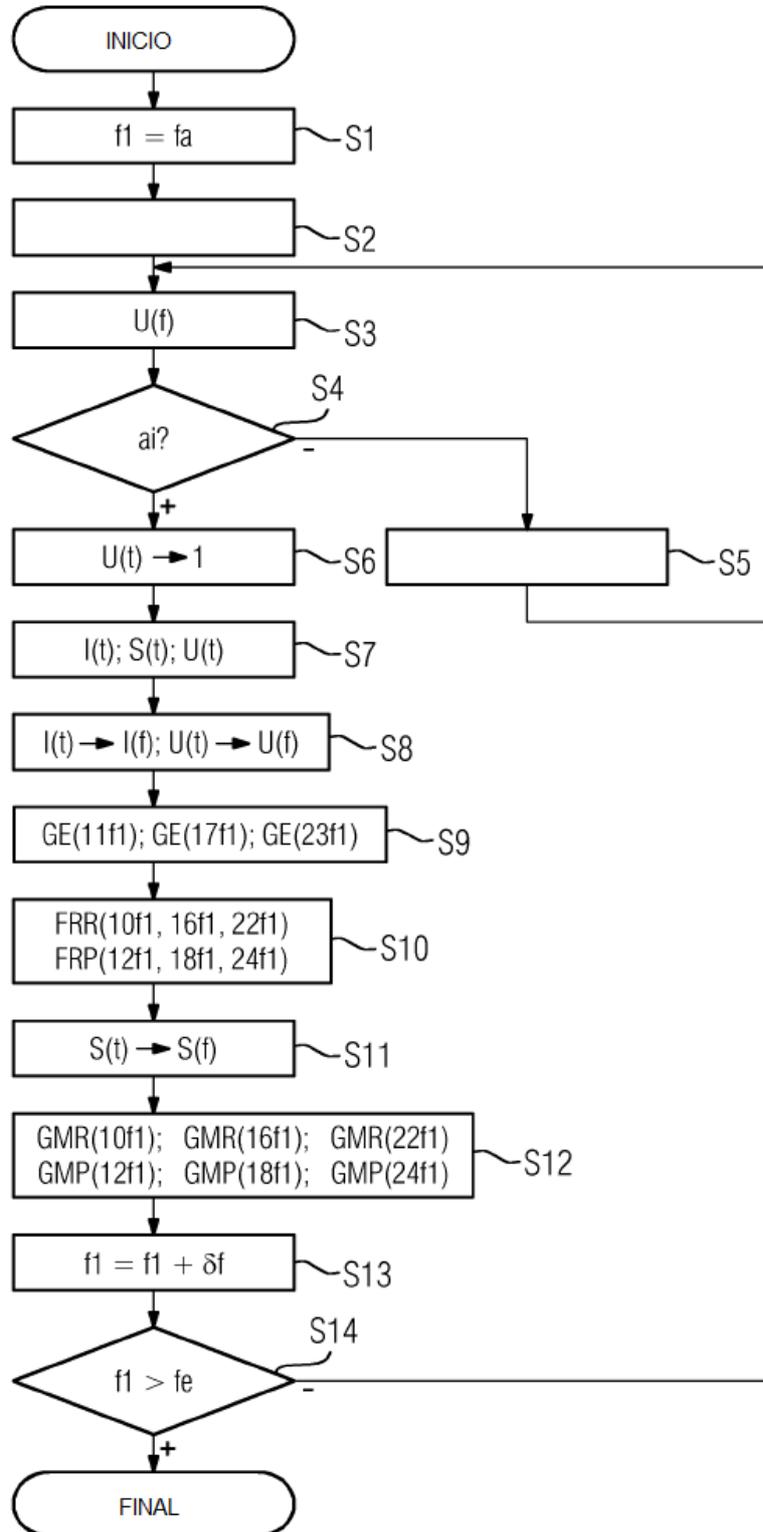


FIG 3

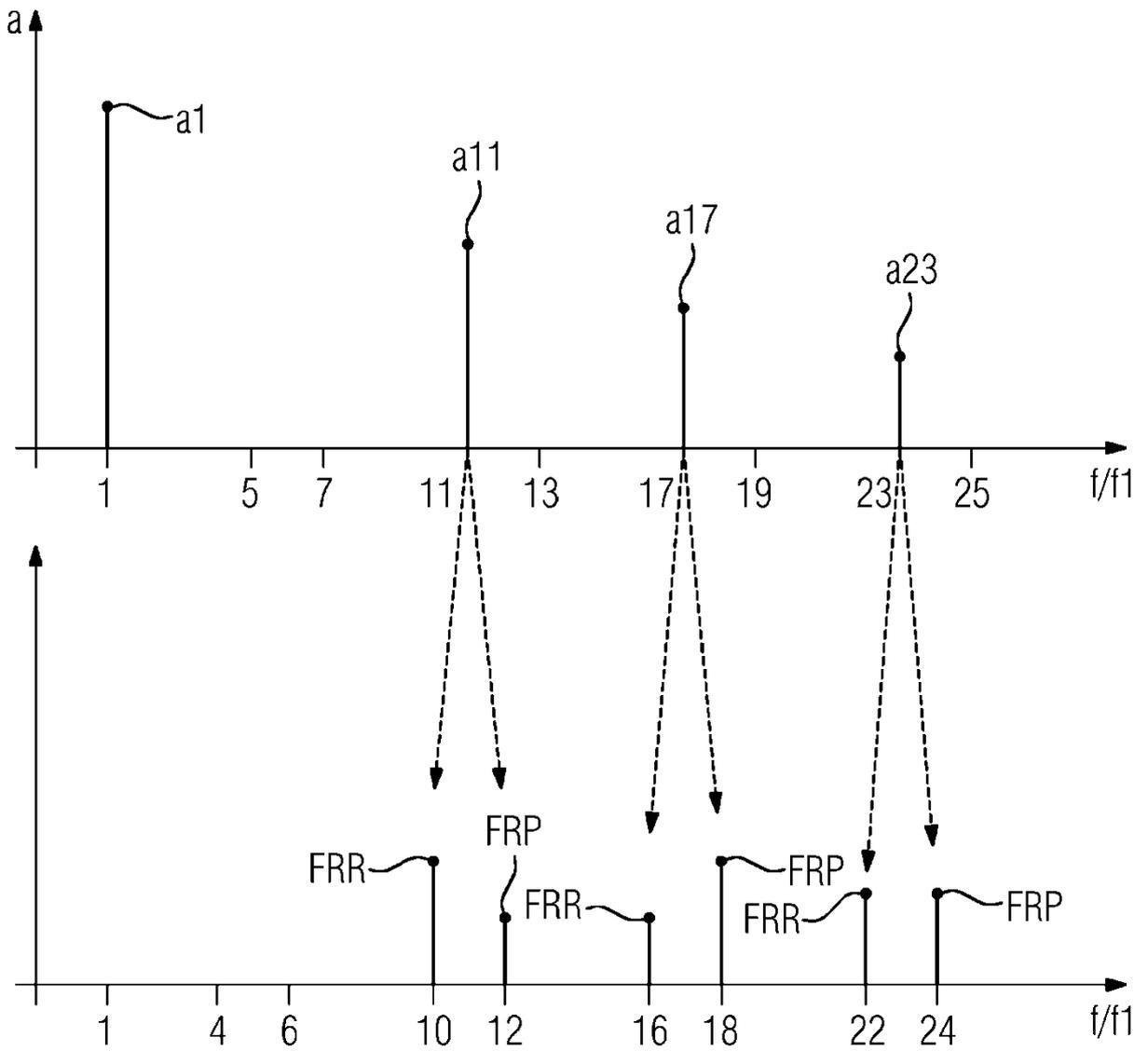


FIG 4

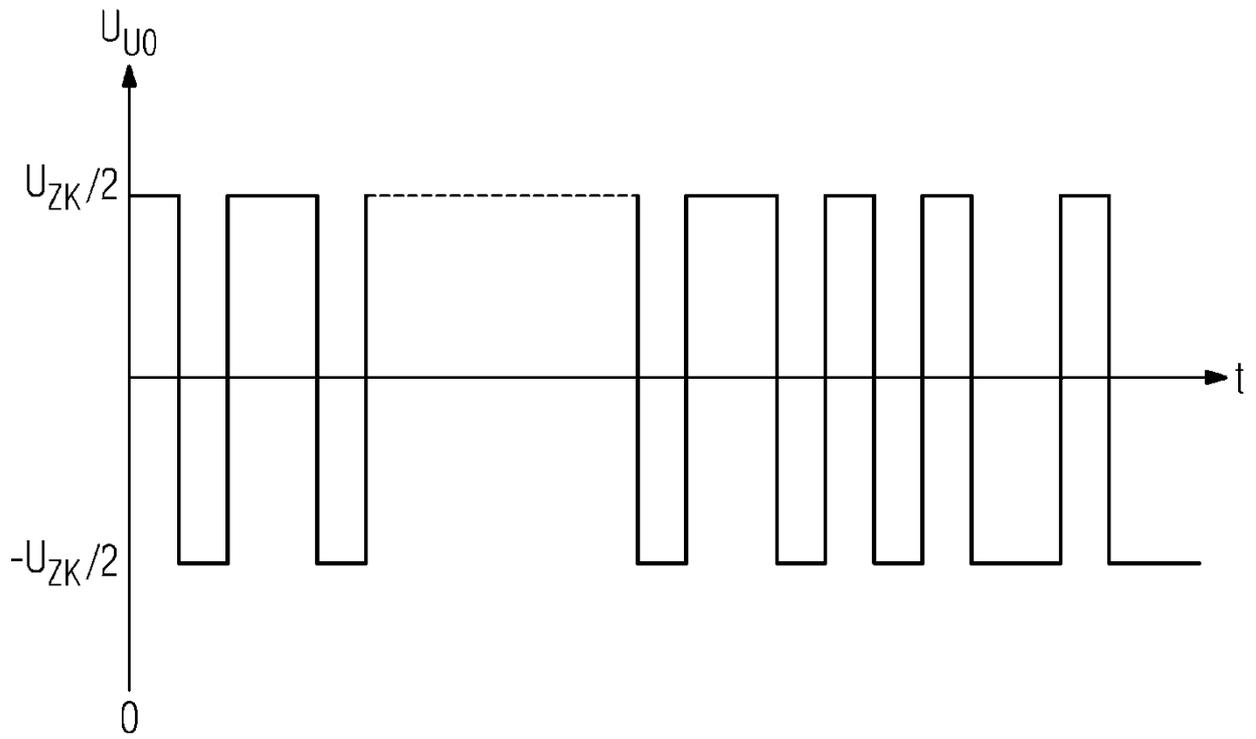


FIG 5

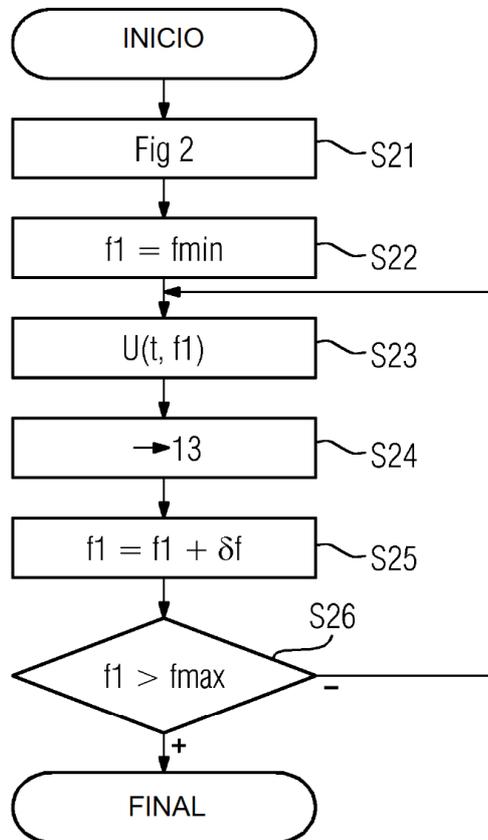


FIG 6

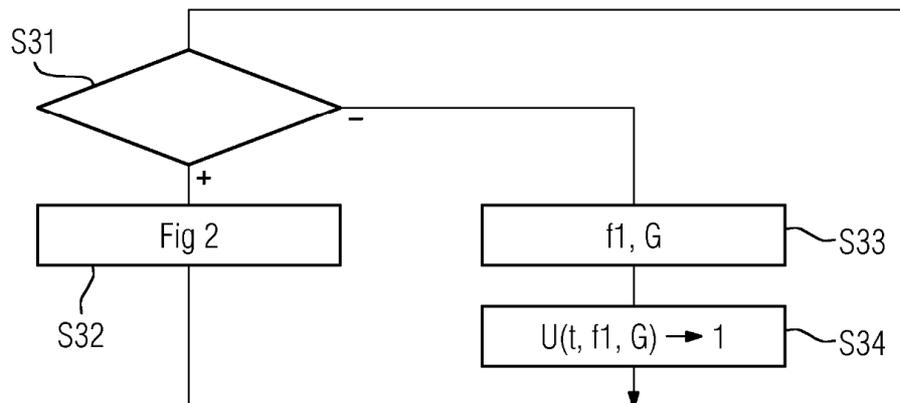


FIG 7

