

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 010 650**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/34** (2010.01)

**G01H 1/00** (2006.01)

**G01M 15/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2019 PCT/DE2019/200051**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2020 WO20015794**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2019 E 19734684 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2024 EP 3824302**

54 Título: **Procedimiento para evaluar el comportamiento vibratorio de un motor eléctrico**

30 Prioridad:  
**17.07.2018 DE 102018211846**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.04.2025**

73 Titular/es:  
**ZIEHL-ABEGG SE (100.00%)  
Heinz-Ziehl-Strasse  
74653 Künzelsau, DE**

72 Inventor/es:  
**SCHMEZER, JOACHIM**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 3 010 650 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para evaluar el comportamiento vibratorio de un motor eléctrico

La invención se refiere a un procedimiento para evaluar el comportamiento ante las vibraciones de un motor eléctrico.

5 Los motores eléctricos están expuestos a diversos tipos de oscilaciones y vibraciones durante su funcionamiento. Estas vibraciones pueden estar causadas por el propio motor eléctrico, por la carga accionada o por el entorno en el que está instalado el motor eléctrico. Por ejemplo, si el motor eléctrico es un componente de un ventilador, un desequilibrio en el rodete puede generar vibraciones. Además, un par de accionamiento no uniforme, que puede estar causado por un voltaje DC de circuito intermedio, por ejemplo, puede amplificar  
10 aún más las vibraciones. Si el ventilador se instala en un entorno industrial que también está expuesto a vibraciones, se generan más vibraciones.

Los motores o ventiladores suelen equilibrarse dinámicamente antes de su entrega al cliente o antes de su instalación en una carcasa, reduciendo las distribuciones asimétricas de peso u otras circunstancias generadoras de vibraciones. Sin embargo, pueden producirse daños durante la instalación en una carcasa,  
15 durante el transporte al cliente, durante la instalación en una aplicación del cliente o en el cliente final, que pueden perjudicar la calidad del equilibrado. Si un ventilador funciona en entornos con suciedad adherida, como en la agricultura o en condiciones ambientales muy corrosivas, la calidad del equilibrado también se ve perjudicada a lo largo de la vida útil del ventilador.

Los desequilibrios provocan un aumento de las vibraciones, que a su vez someten a una gran tensión a los componentes del motor eléctrico. Por ejemplo, los cojinetes se ven sometidos a una tensión considerablemente mayor por las vibraciones que la que se produciría en un sistema con menos vibraciones. Por otro lado, las vibraciones someten a tensión a los componentes electrónicos integrados en el motor eléctrico. Esto puede provocar que se suelten las soldaduras, que se destruyan los elementos constructivos o incluso que se rompan las placas de circuitos impresos. En general, un alto nivel de vibraciones puede provocar una reducción  
20 significativa de la vida útil del motor eléctrico y/o de sus componentes.

El documento EP 2 972 431 B1 divulga un motor eléctrico con supervisión funcional de los cojinetes del motor. Para ello se fija un sensor de vibraciones a la brida del estator en su lado opuesto al rotor y mide las vibraciones del motor eléctrico. De este modo es posible reconocer cuándo surgen problemas con el cojinete del motor eléctrico. Sin embargo, sólo pueden hacerse afirmaciones limitadas sobre el comportamiento de las vibraciones  
30 del motor eléctrico.

El documento DE 10 2007 039 699 A1 divulga un procedimiento para supervisar los valores del nivel de vibración en sistemas de accionamiento que comprenden, por ejemplo, un engranaje accionado por un motor eléctrico. El sonido corporal o aéreo generado por el sistema de accionamiento se registra con uno o varios sensores de aceleración y los desarrollos de la señal registrados se someten a un análisis de Fourier. Mediante el análisis de las distintas bandas de frecuencia se pueden distinguir las diferentes fuentes de sonido, por ejemplo, el engrane de las ruedas dentadas y el sonido generado por un rodamiento. Durante un "aprendizaje" (por ejemplo, durante la puesta en marcha inicial) se registran los valores del nivel de vibración y se calcula un valor límite multiplicándolos por un factor. Si se supera el valor límite por un valor de nivel de vibración registrado durante el funcionamiento normal, se activa una advertencia y/o un mensaje. Las situaciones de funcionamiento como, por ejemplo, el número de revoluciones o el par actuales, actuales también pueden tenerse en cuenta en la evaluación. En el párrafo [0045] también se aborda el uso de un valor límite asociado al número de revoluciones actual.  
35

Según el documento DE 10 2007 039 699 A1 resulta problemático que los sensores externos allí utilizados no tengan en cuenta los desequilibrios de un motor eléctrico o, al menos, no los tengan suficientemente en cuenta.  
40 No se pueden hacer afirmaciones concretas sobre el comportamiento vibratorio del motor eléctrico.

Los desequilibrios provocan un aumento de las vibraciones que a su vez suponen una carga muy elevada para los componentes del motor eléctrico. Por ejemplo, los cojinetes se ven sometidos a un esfuerzo considerablemente mayor por las vibraciones que el que se produciría en un sistema con menos vibraciones. Por otro lado, las vibraciones someten a una gran tensión a los componentes electrónicos integrados en el motor eléctrico. Esto puede provocar que se suelten las soldaduras, que se destruyan los elementos constructivos o incluso que se rompan las placas de circuitos impresos. En general, un alto nivel de vibraciones puede provocar una reducción significativa de la vida útil del motor eléctrico y/o de sus componentes.  
50

El documento DE 197 02 234 A1 muestra un procedimiento para supervisar y evaluar la calidad de las piezas móviles y/o giratorias de una máquina. En el documento DE 197 02 234 A1, un sensor de vibraciones mide las vibraciones de la pieza de la máquina y envía los valores medidos a un circuito lógico de evaluación. Los valores medidos se comparan con valores límite en bandas de frecuencia y se analizan para detectar daños o averías inminentes o existentes. Se hace seguimiento de los valores límite en cuanto a su velocidad o número de revoluciones. Sin embargo, la publicación sólo se refiere a una máquina en términos generales y no divulga  
55

ninguna característica específica del motor eléctrico, como un sensor de vibraciones del motor eléctrico o un sensor de vibraciones dispuesto en el sistema electrónico del motor.

El documento WO 2010/094915 A1 divulga una supervisión de las amplitudes de vibración en cuanto al número de revoluciones. En él no se hace referencia a un motor eléctrico.

- 5 El documento DE 10 2011 077 490 A1 divulga un dispositivo de prueba y un procedimiento de prueba para un motor eléctrico. Se acopla un motor eléctrico al dispositivo de prueba y se hace funcionar a un número de revoluciones predeterminado o en un intervalo de números de revoluciones predeterminado. Los sensores de aceleración del dispositivo de prueba miden las vibraciones del motor eléctrico. Los valores medidos así obtenidos se comparan con un valor umbral. Si los valores medidos superan el valor umbral, el motor eléctrico se evalúa como defectuoso. No se divulga allí una detección de número de revoluciones o un valor umbral respecto del número de revoluciones.

Los documentos US 2012/330578 A1 y DE 100 49 506 A1 divulgan la disposición de un sensor de vibraciones en un motor eléctrico. La integración en un motor eléctrico o incluso en un sistema electrónico del motor eléctrico no se divulga allí.

- 15 La presente invención se basa en el objetivo de diseñar y seguir desarrollando un procedimiento del tipo mencionado anteriormente de tal manera que se pueda hacer una afirmación fiable sobre el comportamiento de vibración del motor eléctrico.

De acuerdo con la invención, el objetivo anterior se logra mediante las características de la reivindicación 1.

- 20 De manera según la invención se ha reconocido que el comportamiento de vibración de un motor eléctrico puede evaluarse de forma especialmente fiable si se lleva a cabo una evaluación del comportamiento de las vibraciones en función de un número de revoluciones actual del motor eléctrico. De este modo, no sólo pueden identificarse las frecuencias de resonancia del motor eléctrico, sino que también puede reconocerse una carga límite en el motor eléctrico, por ejemplo como resultado de un desequilibrio excesivo. De acuerdo con la invención, para ello se mide un valor de vibración del motor eléctrico midiendo una aceleración y/o una
- 25 velocidad de las vibraciones del motor eléctrico. Para ello se utiliza un sensor de vibraciones integrado en el motor eléctrico o acoplado a éste mediante tecnología de vibraciones. El sensor de vibraciones mide las vibraciones en al menos una dirección. Si las vibraciones sólo deben medirse en una dirección, basta con un simple sensor de un eje. Para mediciones en varias direcciones, esto puede conseguirse si el sensor de vibraciones es un sensor de varios ejes. Por otro lado, el sensor de vibraciones podría estar formado por varios sensores individuales que midan las vibraciones en distintas direcciones. Estos valores medidos se utilizan para formar un valor de vibración del motor eléctrico. El valor de vibración representa cada una de las direcciones medidas, al menos una. Esto suele significar que el valor de vibración está formado por una tupla de valores, como es habitual con los vectores, por ejemplo. Sin embargo, también puede haber aplicaciones en las que los valores absolutos en la dirección respectiva no sean importantes. En tales casos, el valor de
- 30 vibración también puede estar formado por una cantidad en la que, por ejemplo, se sumen los valores de vibración individuales en las direcciones respectivas en el sentido de una suma vectorial.

- En otra etapa se determina el número de revoluciones actual del motor eléctrico. Aquí, la determinación del número de revoluciones y la determinación de los valores de vibración deben estar estrechamente relacionadas en el tiempo. Debe garantizarse que el número de revoluciones determinado sea realmente el actual en el momento en que se miden las vibraciones. En el caso de los motores eléctricos con una baja varianza del número de revoluciones, la determinación del número de revoluciones puede, no obstante, estar relativamente alejada en el tiempo de la medición de las vibraciones. En este caso, pueden transcurrir varios minutos o incluso horas entre la determinación del número de revoluciones y la medición de las vibraciones. En la mayoría de los casos, sin embargo, la determinación del número de revoluciones y la medición de las vibraciones deben tener
- 40 lugar con un breve intervalo de tiempo, preferiblemente en un plazo de 10 segundos, de modo particularmente preferible en un plazo de 1 segundo, particularmente preferible en un plazo de 0,1 segundos. Puede utilizarse un sensor de número de revoluciones específico para determinar el número de revoluciones actual. Por otra parte, el número de revoluciones puede derivarse de otras variables del motor eléctrico. Por ejemplo, puede obtenerse un valor de número de revoluciones a partir del sistema electrónico del motor o derivarse de la frecuencia de la tensión de alimentación. Los procedimientos correspondientes para determinar el número de revoluciones de un motor eléctrico son suficientemente conocidos en la práctica.

- Se determina o se carga un valor de referencia con el número de revoluciones actual determinado y se compara con el valor de vibración determinado. En una memoria puede almacenarse una lista de valores de referencia con el número de revoluciones asociado respectivo y puede cargarse un valor de referencia de la lista basándose en el número de revoluciones actual. También sería concebible que los valores de referencia se almacenaran en una memoria como una función dependiendo del número de revoluciones, en cuyo caso la función puede ser una aproximación del comportamiento real y/o definirse por tramos. Determinar el valor de referencia implicaría entonces calcular la función con el número de revoluciones actual como variable. Sin embargo, el valor de referencia también puede proceder de uno o varios sensores de prueba de un sistema de

prueba, que mide las vibraciones del motor eléctrico al mismo tiempo o cerca en el tiempo del sensor de vibraciones del motor eléctrico. De este modo, el procedimiento según la invención puede utilizarse tanto en un funcionamiento nominal del motor eléctrico como en una operación de calibración en un sistema de prueba.

5 A partir de la comparación del valor de vibración determinado y del valor de referencia (determinado), se determina una medida de evaluación que es representativa del comportamiento de vibración del motor eléctrico. Basándose en esta medida de evaluación se puede determinar si el comportamiento de vibración del motor eléctrico es crítico o si el motor eléctrico está funcionando dentro de los límites de vibración permitidos. De este modo, no sólo puede evaluarse el comportamiento de las vibraciones causado por los cojinetes, sino también  
10 las vibraciones generadas por la carga, por ejemplo, el rodete de un ventilador desequilibrado, o por el entorno de la instalación. Dado que, durante el funcionamiento nominal de un motor eléctrico, lo que causa las vibraciones es, en última instancia, de importancia secundaria para una carga de vibración inaceptablemente alta en el motor eléctrico, el comportamiento de vibración del motor eléctrico puede evaluarse exhaustivamente utilizando el procedimiento según la invención.

15 Cuando se utiliza el procedimiento según la invención durante una operación de calibración en un sistema de prueba, la medida de evaluación puede indicar cómo afectan las vibraciones del motor eléctrico a las señales del sensor de vibraciones del motor eléctrico y del sensor de prueba. Por ejemplo, la medida de evaluación puede indicar si el sensor de vibraciones del motor eléctrico funciona correctamente y/o cómo afectan las vibraciones individuales a la señal del sensor del sensor de vibraciones del motor eléctrico y/o cómo pueden clasificarse y evaluarse los valores de vibración en niveles de vibración o zonas de vibración. Esta lista muestra  
20 la flexibilidad con la que puede utilizarse la medida de evaluación. Es esencial que la información sobre el comportamiento de las vibraciones pueda ser indicada por la medida de evaluación.

En principio, es irrelevante para el procedimiento según la invención para qué motor eléctrico se utiliza el procedimiento. Lo que es esencial es que puede determinarse un número de revoluciones actual, lo cual es el caso para muchos motores eléctricos. También es importante que se pueda integrar un sensor de vibraciones  
25 en el motor eléctrico o, al menos, acoplarlo directamente a él. Sin embargo, es preferible que el procedimiento según la invención se utilice en relación con motores EC (motores conmutados electrónicamente).

En principio, la medida de evaluación también puede formarse de muy diversas maneras. Es importante que la medida de evaluación contenga información sobre el comportamiento de vibración del motor eléctrico. Dado que el comportamiento de vibración en un funcionamiento nominal del motor eléctrico se establece a menudo  
30 en relación con un valor de vibración máximo admisible, la medida de evaluación indica preferiblemente cuánto se desvía el valor de vibración de un valor de vibración máximo admisible. El aspecto real de la medida de evaluación dependerá de la aplicación correspondiente. Por ejemplo, puede bastar con indicar si se ha alcanzado o no el valor máximo de vibración admisible. En este caso, la medida de evaluación puede estar formada por una simple declaración binaria. En la mayoría de los casos, sin embargo, será importante saber  
35 cuán grande es la "distancia" entre el valor de vibración medido y el valor de vibración máximo permitido. En estos casos, la medida de evaluación puede estar formada, por ejemplo, por una escala de evaluación con números naturales entre 1 y 10 o un número decimal entre 0 y 1 o un porcentaje entre 0 y 100 %. Uno de los valores límite puede referirse a las vibraciones inmediatamente después del equilibrado, mientras que el otro valor límite - por ejemplo - indica si se ha alcanzado el valor máximo de vibración permitido.

40 Una vez determinada la medida de evaluación, existen diversas posibilidades cómo reaccionar a la evaluación del comportamiento de las vibraciones. En principio, son concebibles todas las reacciones que responden al comportamiento de vibración evaluado. Sin embargo, en un desarrollo avanzado, se genera un mensaje de advertencia que indica que se ha alcanzado o superado un valor de vibración máximo permitido. La forma en que se emita el mensaje de advertencia dependerá del escenario de aplicación correspondiente. Sería concebible, sobre todo en entornos de Industria 4.0, que el mensaje de advertencia correspondiente se enviara  
45 a través de una red. Este mensaje de advertencia puede ser recibido por el personal de mantenimiento o el personal operativo, por ejemplo, y pueden emprenderse las contramedidas adecuadas.

También puede emitirse un mensaje de advertencia mediante un simple diodo emisor de luz, que se ilumine en verde en funcionamiento normal, por ejemplo, y en rojo cuando se alcance o se supere el valor máximo de vibración permitido. También sería concebible en este caso, por ejemplo, que el diodo emisor de luz se encendiera en naranja cuando se superara un primer valor límite de vibración. También puede utilizarse un mensaje de advertencia - sobre todo en entornos con suciedad adherida - para activar las tareas de limpieza  
50 y/o mantenimiento.

55 Alternativa o adicionalmente pueden iniciarse medidas para proteger el motor eléctrico cuando se alcanza o se supera un valor máximo de vibración permitido. Estas medidas pueden incluir, por ejemplo, la modificación del número de revoluciones del motor eléctrico. En la mayoría de los casos, una reducción del número de revoluciones debería contribuir a una reducción de las vibraciones. De este modo, el motor eléctrico puede ajustarse posiblemente a un estado de funcionamiento con vibraciones menos fuertes. Otra medida podría consistir en conmutar el control a un modo de funcionamiento más silencioso en el que, por ejemplo, se  
60 reduzcan en mayor medida las ondulaciones del par de accionamiento. Para ello, una unidad de evaluación

que determina la medida de evaluación basándose en una comparación entre el valor de vibración y el valor de referencia, puede conectarse al sistema electrónico del motor de forma comunicada.

Alternativa o adicionalmente, la medida de evaluación puede utilizarse para detectar daños en el motor eléctrico y/o en la carga accionada. Por ejemplo, la medida de evaluación puede compararse entre sí durante dos 5 activaciones sucesivas del motor eléctrico. Si las medidas de evaluación se desvían entre sí más allá de un valor umbral predefinido, es posible que se hayan producido daños. Los daños en el transporte, por ejemplo, también pueden reconocerse de este modo. En este caso, las dos activaciones sucesivas se deberían al funcionamiento durante la prueba final del motor eléctrico y la puesta en marcha inicial. Una desviación excesiva puede señalarse emitiendo un mensaje de advertencia y/o denegando el funcionamiento del motor eléctrico.

10 La medida de evaluación se utiliza para evaluar las vibraciones del entorno de la instalación. Si el número de revoluciones del motor eléctrico es 0, el propio motor eléctrico no puede generar ninguna vibración. Por lo tanto, todas las vibraciones medidas por el sensor de vibraciones deben proceder del entorno de la instalación (por ejemplo, el intercambiador de calor, los conductos de ventilación, la bomba de calor, la carcasa de la caja del aire acondicionado, etc.). Esto permite registrar y evaluar las vibraciones del entorno de la instalación. Esta 15 evaluación puede almacenarse en una memoria y tenerse en cuenta a la hora de accionar el motor eléctrico. Dicha evaluación del entorno de la instalación puede tener lugar, por ejemplo, cuando se aplica una tensión de alimentación al motor eléctrico. Como el inicio de un movimiento giratorio del motor eléctrico suele retrasarse entonces de todos modos por el arranque del sistema electrónico del motor, puede aceptarse un breve retraso adicional para evaluar las vibraciones del entorno de la instalación. Además, es posible realizar una evaluación 20 durante una parada del motor (incluso sin desconectar previamente la tensión de alimentación). En este caso, es concebible que se realice una evaluación una vez haya transcurrido un periodo de tiempo determinado. Si la nueva evaluación se activa cuando el motor eléctrico aún está en marcha, la evaluación puede restablecerse y llevarse a cabo después de que el motor se haya detenido. Si una evaluación de las vibraciones del entorno de la instalación da como resultado un valor de vibración muy alto o incluso demasiado alto, se puede emitir 25 un mensaje de advertencia y/o denegar el funcionamiento del motor eléctrico.

En una configuración del sensor de vibraciones, el valor de vibración se determina utilizando un sensor de vibraciones que está dispuesto en una unidad electrónica del motor eléctrico. Muchos motores eléctricos, en particular los motores EC, disponen de un sistema electrónico de motor necesario para controlar y/o regular el motor eléctrico. Dicho sistema electrónico del motor genera, por ejemplo, la tensión de alimentación para los bobinados del estator y/o del rotor. Tal disposición de un sensor de vibraciones se describe, por ejemplo, en el 30 documento DE 10 2018 211 838 A1, a cuyo contenido se remite expresamente el presente documento. Este sistema electrónico del motor puede disponerse en el interior del motor eléctrico, por ejemplo en una carcasa de sistema electrónico formada en una caja del estator. Sin embargo, también es concebible que el sistema electrónico del motor esté dispuesto en una carcasa de sistema electrónico separada y que esta carcasa de sistema electrónico esté montada con bridas o atornillada al motor eléctrico. También en este caso, un sensor de vibraciones dispuesto en el sistema electrónico del motor se considera un sensor de vibraciones del motor eléctrico.

En otra configuración del sensor de vibración, el valor de vibración se determina utilizando un sensor de vibración que forma parte de una disposición de sensores dispuesta en un tubo de cojinete del motor eléctrico. Muchos motores eléctricos, en particular los motores eléctricos en el rango de potencia media y alta (es decir, de unos 100 W a 15 kW) tienen un tubo de cojinete en el que está montado de forma giratoria el eje del motor eléctrico. Entre el eje y la pared del tubo de cojinete hay un espacio intermedio que suele tener entre 4 mm y 8 mm de ancho. Este espacio intermedio puede utilizarse para una disposición de sensores que haga medibles 40 los parámetros de funcionamiento del motor eléctrico. Una disposición de sensores de este tipo se describe, por ejemplo, en el documento DE 10 2018 211 833, a cuyo contenido se remite expresamente el presente documento.

El propio sensor de vibraciones puede estar formado de muy diversas maneras. Es esencial que el sensor de vibraciones sea capaz de proporcionar valores de aceleración y/o valores de velocidad para la vibración medida. El sensor de vibraciones puede estar formado por un sensor de aceleración MEMS (sistema 50 microelectromecánico), un sensor de aceleración piezoeléctrico, un micrófono (por ejemplo, un micrófono MEMS) o galgas extensométricas. Los sensores adecuados son bien conocidos en la práctica.

Dependiendo del tipo de evaluación del comportamiento vibratorio del motor eléctrico, puede ser adecuada una medición de las vibraciones en una o varias direcciones. Preferiblemente, sin embargo, las vibraciones se miden en tres direcciones, cada una de las cuales se tiene en cuenta en el valor de la vibración. Las tres 55 direcciones son preferiblemente perpendiculares entre sí. Estas tres direcciones pueden abarcar, por ejemplo, un sistema de coordenadas cartesianas clásico. Por ejemplo, una primera dirección puede ser paralela al eje del motor eléctrico, mientras que una de las otras direcciones se dispone paralela a un plano de referencia del motor eléctrico.

Para obtener una imagen lo más completa posible del comportamiento de vibración del motor eléctrico, la determinación del valor de vibración y la evaluación del comportamiento de vibración se llevan a cabo 60

repetidamente, en particular durante el funcionamiento nominal del motor eléctrico. La determinación del valor de vibración y la evaluación del comportamiento de vibración pueden ser activadas por eventos especiales. Tal evento puede ser, por ejemplo, el encendido y el arranque del motor eléctrico o un cambio del número de revoluciones. De manera particularmente preferida, la determinación del valor de vibración y la evaluación del comportamiento de vibración se llevan a cabo periódicamente. Esto significa que las etapas se activan a intervalos de tiempo predefinidos. La duración del periodo, es decir, los intervalos de tiempo, pueden depender del escenario de aplicación respectivo. Si, por ejemplo, es necesario reaccionar ante la suciedad en el rodete de un ventilador, bastará con evaluar el comportamiento de las vibraciones a diario, semanalmente o incluso mensualmente. Para entornos de funcionamiento en los que los cambios regulares de vibración y los cambios regulares del número de revoluciones son habituales, pueden ser apropiadas duraciones de periodo más cortas. Aquí, por ejemplo, sería concebible una evaluación horaria o una evaluación con intervalos de pocos minutos.

Preferiblemente, un valor de vibración determinado y/o una medida de evaluación específica se almacenan en una memoria. De este modo, el valor de vibración y/o la medida de evaluación pueden registrarse durante el funcionamiento. La memoria puede almacenarse mediante un suministro de energía, por ejemplo una batería. Sin embargo, es preferible utilizar una memoria no volátil, como una memoria flash, una EEPROM (memoria de sólo lectura, programable y borrable electrónicamente), una NVRAM (memoria de acceso aleatorio no volátil) u otra memoria semiconductor. Al almacenar el valor de la vibración y/o la medida de evaluación, es aconsejable almacenar también el número de revoluciones actual al que se registró el valor de la vibración. Adicionalmente, es aconsejable almacenar un sello de tiempo que indique el momento al que se registró el valor de vibración. Para ello se dispone preferiblemente de un reloj en tiempo real, que puede suministrar datos para un sello de tiempo correspondiente.

Adicional o alternativamente, un valor de vibración determinado y/o una medida de evaluación específica pueden transmitirse a través de una interfaz de comunicación. La interfaz de comunicación puede construirse de muy diversas maneras. Los procedimientos de transmisión inalámbricos, por ejemplo los basados en la radio o los ópticos, pueden utilizarse del mismo modo que los procedimientos por cable. La transmisión puede ser analógica o digital, en serie o en paralelo, en paquetes o en flujos de datos, a través de un bus o de conexiones directas. La tecnología de transmisión utilizada dependerá del respectivo escenario de aplicación. Algunos ejemplos son, entre otros, Bluetooth, Bluetooth LE (baja energía), NFC (comunicación en campo cercano), Ethernet, RS485, Modbus, Profibus, bus CAN o USB (bus de serie universal). Preferiblemente, la interfaz de comunicación ofrece - directa o indirectamente - un acceso a una red de rango amplio.

La interfaz de comunicación puede conectarse a un sistema electrónico del motor de forma comunicada. El sistema electrónico del motor puede estar diseñado para ajustar el control de los bobinados del estator y/o del rotor basándose en los valores de vibración y/o de las medidas de evaluación recibidas a través de la interfaz de comunicación. Por ejemplo, una medida de evaluación puede indicar que el motor eléctrico está sometido a un elevado esfuerzo por vibración. En este caso, el sistema electrónico del motor puede controlar el motor eléctrico de tal manera que se reduzca el esfuerzo por vibración. Esto podría hacerse cambiando ligeramente el número de revoluciones del motor eléctrico para desplazarlo de una frecuencia de resonancia, por ejemplo.

Para determinar un valor de referencia que pueda utilizarse en un funcionamiento nominal del motor eléctrico, es preferible realizar mediciones de calibración y/o de rodaje. El motor eléctrico se hace funcionar a números de revoluciones diferentes y se miden las vibraciones del motor eléctrico. Durante las mediciones de rodaje, el número de revoluciones aumenta de forma continua o casi continua, lo que facilita especialmente la detección de frecuencias de resonancia, por ejemplo. Durante las mediciones de calibración y/o de rodaje, las vibraciones se miden, por un lado, con el sensor de vibraciones del motor eléctrico y, por otro, con al menos un sensor de prueba. El al menos un sensor de prueba forma parte preferentemente de un sistema de prueba. El al menos un sensor de prueba está acoplado a la carcasa del motor eléctrico de tal manera que las vibraciones del motor eléctrico pueden llegar al sensor de prueba de una manera definida y optimizada. Mediante la detección simultánea con el sensor de vibraciones del motor eléctrico, se puede establecer y evaluar una relación directa entre el sensor de vibraciones y el sensor de prueba utilizando el procedimiento según la invención. En particular, si el sensor de vibraciones está incrustado en una composición de encapsulado, las vibraciones del motor eléctrico se amortiguan antes de llegar al sensor de vibraciones del motor eléctrico. Al medir simultáneamente con el, al menos un, sensor de prueba, puede establecerse una relación entre los valores medidos del sensor de vibraciones y los valores medidos del al menos un sensor de prueba. Esta relación puede reflejarse entonces en el valor de referencia respectivo. Esto se debe a que el valor de referencia se desviará en diferentes grados en función del comportamiento de amortiguación entre el sensor de vibraciones y el "resto" del motor eléctrico.

Preferiblemente, además de determinar los valores de referencia a diferentes números de revoluciones, se determina un valor de desviación que indica una relación entre un valor medido del sensor de vibraciones del motor eléctrico y un valor medido del al menos un sensor de prueba. En un desarrollo avanzado, este valor de desviación puede utilizarse para ajustar el valor de vibración máximo admisible. De este modo, se pueden analizar las características de transmisión de las vibraciones al sensor de vibraciones del motor eléctrico.

En un desarrollo avanzado, una curva característica de referencia que contiene varios valores de referencia a diferentes números de revoluciones del motor eléctrico puede almacenarse en una base de datos del motor. Esta base de datos de motores podría contener parámetros de funcionamiento de varios motores eléctricos, en cuyo caso cada conjunto de datos de la base simula el comportamiento operativo del motor eléctrico dedicado respectivo ("gemelo digital"). Un sistema de base de datos de este tipo se describe, por ejemplo, en el documento DE 10 2018 201 707 A1.

Un motor eléctrico que utiliza el procedimiento según la invención comprende - además de un estator y un rotor - un sensor de vibraciones, una unidad de determinación del número de revoluciones, un comparador y una unidad de evaluación. El sensor de vibraciones está diseñado para medir las vibraciones del motor eléctrico en al menos una dirección. La unidad de determinación del número de revoluciones está diseñada para determinar el número de revoluciones actual del motor eléctrico. El comparador compara los valores de vibración determinados usando el sensor de vibración con un valor de referencia y emite el resultado de la comparación a la unidad de evaluación que está diseñada para determinar una medida de evaluación para evaluar el comportamiento de la vibración basándose en el resultado de la comparación. Cabe señalar que estos componentes no tienen por qué estar previstos exclusivamente para la evaluación del comportamiento vibratorio. Más bien, pueden utilizarse también componentes ya disponibles para otros fines. Por ejemplo, la unidad de determinación del número de revoluciones puede proporcionarse para el control del motor con el fin de poder generar un control adecuado para los bobinados del rotor y/o del estator. Además, por ejemplo, la unidad de evaluación o el comparador pueden implementarse en un microcontrolador de la unidad de control del motor.

Preferiblemente, el motor eléctrico comprende una interfaz diseñada para intercambiar valores de vibración y/o valores de vibración de calibración con un sistema de prueba. De este modo, se puede favorecer la medición del motor eléctrico en una medición de calibración y/o de rodaje. A su vez, la interfaz puede estar formada de diferentes maneras. Las interfaces inalámbricas pueden utilizarse del mismo modo que las interfaces cableadas. Sin embargo, dado que el motor eléctrico del sistema de prueba funciona de todos modos por cable, se recomienda una interfaz cableada.

Entonces existen diversas posibilidades para configurar ventajosamente y desarrollar aún más la enseñanza de la presente invención. Para ello debe hacerse referencia, por un lado, a las reivindicaciones que siguen a las reivindicaciones dependientes y, por otro, a la siguiente explicación de los ejemplos de realización preferidos de la invención mediante el dibujo. En relación con la explicación de los ejemplos de realización preferidas de la invención mediante el dibujo, también se explican configuraciones generalmente preferidas y otros desarrollos avanzados de la enseñanza. El dibujo muestra

La Fig. 1 es un diagrama de bloques con un motor eléctrico y un sistema de prueba, así como la interacción entre estos componentes,

La Fig. 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento según la invención para evaluar el comportamiento vibratorio de un motor eléctrico durante una operación de calibrado y

La Fig. 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento según la invención para evaluar el comportamiento vibratorio de un motor eléctrico durante el funcionamiento nominal.

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques con un sistema que comprende un motor eléctrico 1 y un sistema de prueba 2; en la Fig. 1 se muestran los componentes más relevantes para el procedimiento. El motor eléctrico 1 forma parte de un ventilador y genera vibraciones durante su funcionamiento, lo que se representa mediante la flecha 3, y un número de revoluciones, lo que se muestra mediante la flecha 4. Las vibraciones 3 se miden por un sensor (interno) de vibraciones 5 del motor eléctrico en al menos una dirección. Los valores medidos determinados por el sensor de vibraciones 5 se transfieren a un procesador 6 que está formado, por ejemplo, por un microcontrolador. Este procesador 6 puede, por ejemplo, realizar una conversión analógica-digital y/o controlar el registro de los valores medidos. De este modo, el procesador 6 puede determinar los valores de vibración a partir de los valores medidos. Además, el procesador 6 ejecuta un programa que actúa como unidad de evaluación y calcula una medida de evaluación. Además, el procesador 6 está diseñado para determinar el número de revoluciones actual.

El procesador 6 está conectado a una interfaz 7 y a una memoria (interna) 8. La interfaz 7 representa una conexión de comunicación con el sistema de prueba 2. La información puede enviarse al sistema de ensayo 2 a través de una salida OUT de la interfaz 7, y la información puede recibirse del sistema de ensayo 2 a través de una entrada IN de la interfaz 7, en cuyo caso el canal de entrada y el canal de salida no tienen que implementarse obligatoriamente por separado uno del otro, sino que también pueden utilizar una línea de comunicación común, por ejemplo utilizando un bus. La memoria 8 sirve para almacenar valores de referencia y/o valores de vibración determinados y/o medidas de evaluación determinadas.

El sistema de prueba 2 incluye al menos un sensor de prueba 9, un sensor de número de revoluciones 10, una unidad de registro de datos 11, un procesador 12 y una interfaz 13. El al menos un sensor de prueba 9 está

diseñado para medir las vibraciones 3 del motor eléctrico 1. Para ello, el al menos un sensor de prueba 9 está acoplado al motor eléctrico en términos de tecnología de vibración. El sensor de número de revoluciones 10 mide el número de revoluciones actual 4 del motor eléctrico 1. Tanto el sensor o los sensores de prueba 9 como el sensor de número de revoluciones 10 transmiten los valores medidos a la unidad de registro de datos 11, que a su vez puede transmitir información al procesador 12. El procesador 12 está conectado a una unidad de salida de datos 14, a través de la cual, por ejemplo, se puede realizar una visualización de prueba o emitir los resultados de una inspección final. El procesador también está conectado a la interfaz 13 que, al igual que la interfaz 7, comprende una entrada IN y una salida OUT. La entrada IN de la interfaz 13 está conectada a la salida OUT de la interfaz 7 de forma comunicada, mientras que la salida OUT de la interfaz 13 está conectada a la entrada IN de la interfaz 7 de forma comunicada. Además, la entrada IN de la interfaz 13 está conectada a la unidad de registro de datos 11 y la salida OUT de la interfaz 13 está conectada a una base de datos 15 que representa una base de datos del motor para almacenar parámetros de funcionamiento del motor eléctrico 1.

Un comportamiento ejemplar del sistema mostrado en la Fig. 1 se ilustra en la Fig. 2 como un diagrama de flujo. En una etapa inicial 20, el motor eléctrico se hace funcionar a un número de revoluciones  $n$ . El motor eléctrico 1 genera vibraciones que se representan mediante un valor de vibración  $S$ , preferiblemente una variable multidimensional. Después de la etapa 20, el diagrama de flujo se bifurca en una parte que se ejecuta en el sistema de prueba y una parte que se ejecuta en el motor eléctrico o su sistema electrónico de motor.

En la etapa 21, los valores de vibración del motor se registran en el sistema electrónico integrado del motor eléctrico/ventilador utilizando el sensor de vibración 5 del motor eléctrico 1. Al mismo tiempo se determina el número de revoluciones actual del motor eléctrico, lo que puede hacerse leyendo un valor de memoria correspondiente del sistema electrónico del motor. En la etapa 22, con el valor de vibración  $S$  y el número de revoluciones asociado se genera un par de valores  $W_{\text{motor}}$ , que luego se transfiere al sistema de prueba 2 a través de la interfaz 7 en la etapa 23. Al mismo tiempo, en la etapa 24, se miden las vibraciones 3 del motor eléctrico 1 mediante el al menos un sensor de prueba 9. Los valores de vibración obtenidos de este modo se resumen en la etapa 25 junto con el número de revoluciones actual en un par de valores  $W_{\text{sistema de prueba}}$ . Este par de valores  $W_{\text{sistema de prueba}}$  se transfiere al procesador 12 en la etapa 26 junto con el par de valores  $W_{\text{motor}}$ , que se registra esencialmente de forma simultánea. El par de valores  $W_{\text{motor}}$  se ha transferido al sistema de prueba en la etapa 27 a través de la conexión entre la interfaz 7 y 13 desde la etapa 23. En la etapa 28, los pares de valores  $W_{\text{motor}}$  y  $W_{\text{sistema de prueba}}$  se comparan entre sí, de modo que los valores medidos del sensor de prueba 9 representan un valor de referencia en el sentido del procedimiento según la invención. En la etapa 29, los valores de vibración se calibran al mismo número de revoluciones. Esto puede incluir la determinación de un valor de desviación y/o una medida de evaluación. A continuación, los valores de vibración al mismo número de revoluciones  $W_{\text{motor}}$  y  $W_{\text{sistema de prueba}}$  pueden almacenarse como valores de referencia en la base de datos 15 y transferirse al motor eléctrico 1 a través de la interfaz 13 en la etapa 30. En el caso del motor eléctrico, los valores de referencia y/o los valores de desviación se transfieren desde la interfaz 7 en la etapa 31 y se almacenan en la memoria interna 8 en la etapa 32.

Al realizar repetidamente estas secuencias a diferentes números de revoluciones, se pueden registrar las características de referencia del motor eléctrico y del sistema de prueba y se puede almacenar un conjunto de valores de referencia con números de revoluciones asociados en la memoria interna 8 del motor eléctrico y en la base de datos 15. De este modo puede crearse una tabla de consulta que puede utilizarse cuando el procedimiento se emplee posteriormente en el funcionamiento "normal" del motor eléctrico.

Los valores de vibración del motor o ventilador registrados por el sensor de prueba 9 pueden utilizarse para la evaluación y categorización en niveles de vibración o zonas de vibración. Comparando los valores medidos del sensor interno 5 y del sensor de prueba 9 se pueden deducir las vibraciones reales presentes durante el uso posterior del motor sin acoplarlo a un sistema de prueba y se puede realizar una evaluación del nivel de vibración presente en una aplicación del cliente.

Además, la medición de calibración en el banco de pruebas indica si está dada la función del sensor de vibraciones 5 del motor eléctrico 1 y los componentes asociados de registro y procesamiento de valores medidos y se generan valores medidos plausibles, ya que se comparan con los valores de vibración del sistema de pruebas.

Además, los valores medidos de vibración de un rotor (sin estator asociado) pueden ser registrados por un sensor de prueba de un sistema de equilibrado al equilibrar el rotor en un estator "ficticio" y transferidos a la base de datos o a la memoria interna del sistema electrónico del motor como pares de valores adicionales o como curva característica durante la calibración en el sistema de prueba. Esta información puede utilizarse para filtrar y evaluar la influencia de las vibraciones de los componentes de montaje en una aplicación del cliente.

En la figura 3, el motor eléctrico y su sistema electrónico de motor están desacoplados del sistema de pruebas. Esto significa que estas etapas pueden llevarse a cabo durante el funcionamiento "normal" del motor eléctrico, por ejemplo en un sistema del cliente. Las etapas pueden activarse periódicamente. También en este caso, el motor eléctrico funciona a un número de revoluciones  $n$  en una etapa inicial 20. El motor eléctrico 1 genera

vibraciones que se representan mediante un valor de vibración S, preferiblemente una variable multidimensional. En la etapa siguiente 21, los valores de vibración del motor son detectados por el sensor de vibraciones 5 del motor eléctrico 1. En la etapa 22, se genera un par de valores  $W_{motor}$  con el valor de vibración S y el número de revoluciones asociada y se transfiere a la etapa 33, en la que el par de valores  $W_{motor}$  se pone a disposición de un comparador. En la etapa 34, este par de valores  $W_{motor}$  se compara con un valor de referencia, que se carga desde la memoria 8 en la etapa 35. El comparador se implementa en el procesador 6.

El resultado de la comparación del par de valores  $W_{motor}$  con el valor de referencia se analiza en la etapa 36 mediante una unidad de evaluación y se genera una medida de evaluación. La medida de evaluación se forma aquí como una variable binaria que indica si se ha superado o no un valor de vibración máximo permitido. Si se supera el valor límite de un valor de vibración máximo admisible, en la etapa 37 se toman medidas para proteger el motor eléctrico y/o el entorno, que pueden consistir, por ejemplo, en emitir un mensaje de advertencia o reducir el número de revoluciones (etapa 38). Al mismo tiempo, este suceso y los valores medidos asociados pueden almacenarse en la memoria 8 en la etapa 39. Si no se alcanza el valor de vibración máximo permitido, el par de valores  $W_{motor}$ , el resultado de la comparación y/u otras variables se almacenan en la memoria 8 en la etapa 39.

En el funcionamiento normal del motor - también denominado funcionamiento nominal - el resultado del comparador indica cuánto han aumentado las vibraciones desde la medición de calibración. Por lo tanto, la comparación de la etapa 34 debería proporcionar un valor mayor cuanto más hayan aumentado las vibraciones con respecto a la medición de calibración. A este respecto, este resultado de la comparación puede compararse con un valor límite para una vibración máxima admisible y de ello puede derivarse un comportamiento de vibración excesiva del motor eléctrico. Es irrelevante si las vibraciones proceden del propio motor eléctrico, del rodete accionado por el motor eléctrico, de un control no ideal del motor eléctrico o del entorno de instalación del motor eléctrico.

Con respecto a otras configuraciones ventajosas de la enseñanza según la invención, se hace referencia a la parte general de la descripción y a las reivindicaciones para evitar repeticiones.

Por último, debe señalarse expresamente que los ejemplos de realización descritos anteriormente sólo sirven para discutir la enseñanza reivindicada, pero no la limitan a los ejemplos de realización.

Lista de signos de referencia

- 1 Motor eléctrico
- 2 Sistema de prueba
- 3 Vibraciones
- 4 Número de revoluciones
- 5 Sensor de vibraciones
- 6 Procesador
- 7 Interfaz
- 8 Memoria
- 9 Sensor de prueba
- 10 Sensor de número de revoluciones
- 11 Unidad de registro de datos
- 12 Procesador
- 13 Interfaz
- 14 Unidad de emisión de datos
- 15 Base de datos

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para evaluar el comportamiento de vibración de un motor eléctrico, que comprende las etapas de
- 5 determinar un valor de vibración del motor eléctrico (1) midiendo una aceleración y/o una velocidad de las vibraciones del motor eléctrico (1) usando un sensor de vibraciones (5) del motor eléctrico (1), en cuyo caso las vibraciones se miden en al menos una dirección y el valor de vibración representa cada una de las direcciones medidas, al menos una, en cuyo caso el sensor de vibraciones está integrado en el motor eléctrico y/o en un sistema electrónico del motor eléctrico,
- determinar un número de revoluciones actual (n) del motor eléctrico
- 10 comparar el valor de vibración con un valor de referencia del valor de vibración para el número de revoluciones actual y
- determinar una medida de evaluación para evaluar el comportamiento de vibración del motor eléctrico basándose en la comparación del valor de vibración con el valor de referencia,
- 15 caracterizado porque la evaluación del comportamiento vibratorio se realiza durante una parada del motor eléctrico, es decir, a un número de revoluciones igual a 0, en cuyo caso la medida de evaluación determinada se refiere a las vibraciones de un entorno de instalación del motor eléctrico.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la medida de evaluación indica lo lejos que está el valor de vibración de un valor de vibración máximo admisible, y/o
- 20 que cuando se alcanza o supera un valor de vibración máximo admisible, se genera un mensaje de advertencia y/o se inician medidas para proteger el motor eléctrico (1).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque para determinar el valor de vibración se utiliza un sensor de vibraciones (5), que está dispuesto en un sistema electrónico del motor eléctrico (1), o bien
- que para determinar el valor de vibración se utiliza un sensor de vibraciones (5) que forma parte de una disposición de sensores dispuesta en un tubo de cojinete del motor eléctrico (1).
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque, al determinar el valor de vibración, las vibraciones del motor eléctrico (1) se miden en tres direcciones, en cuyo caso preferentemente las tres direcciones son perpendiculares entre sí.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la determinación del valor de vibración y la evaluación del comportamiento vibratorio se realizan repetidamente, preferiblemente de forma
- 30 periódica.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el valor de vibración y/o la medida de evaluación se almacenan en una memoria (8) y/o se transmiten a través de una interfaz de comunicación (7).
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el valor de referencia se determina durante una calibración y/o medición de rodaje a varios números de revoluciones diferentes del motor eléctrico (1), en cuyo caso las vibraciones del motor eléctrico (1) se miden con el sensor de vibraciones (5) del motor eléctrico (1) y con al menos un sensor de prueba (9) y el al menos un sensor de prueba (9) forma
- 35 parte preferentemente de un sistema de prueba (2).
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque, además de determinar el valor de referencia, se determina un valor de desviación que indica una relación entre los valores medidos del sensor de vibraciones (5) del motor eléctrico (1) y los valores medidos del al menos un sensor de prueba (9), en cuyo caso preferentemente se utiliza el valor de desviación para ajustar el valor de vibración máximo admisible.
- 40 9. Procedimiento según las reivindicaciones 7 u 8, caracterizado porque una curva característica del valor de referencia con varios valores de referencia a diferentes números de revoluciones del motor eléctrico se almacena en una base de datos del motor (15), en cuyo caso la base de datos del motor (15) contiene parámetros de funcionamiento de varios motores eléctricos.
- 45 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque las medidas de evaluación se comparan entre sí durante dos activaciones sucesivas del motor eléctrico y porque la presencia de posibles daños se deduce preferentemente cuando se supera un valor umbral predeterminado.



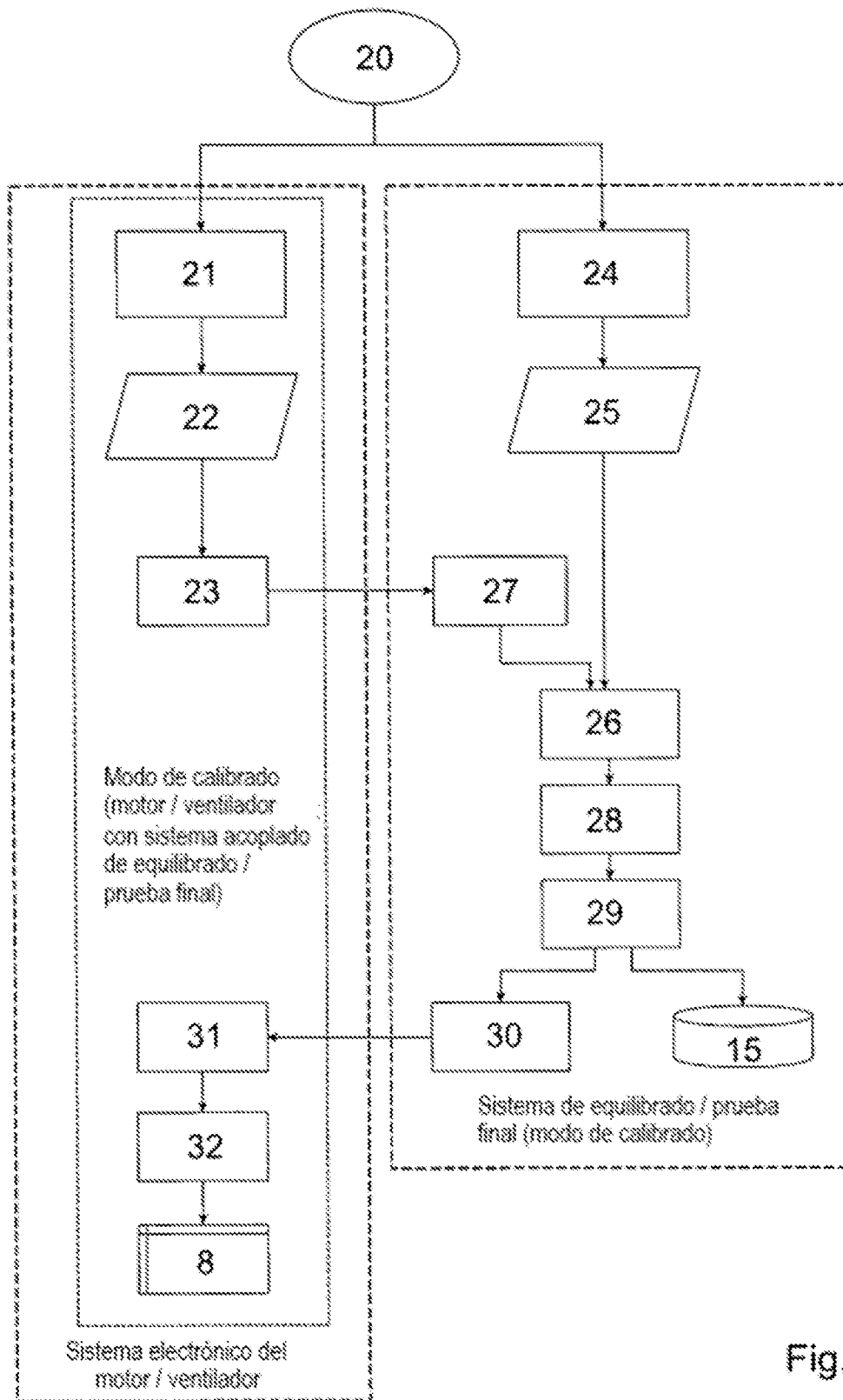


Fig. 2

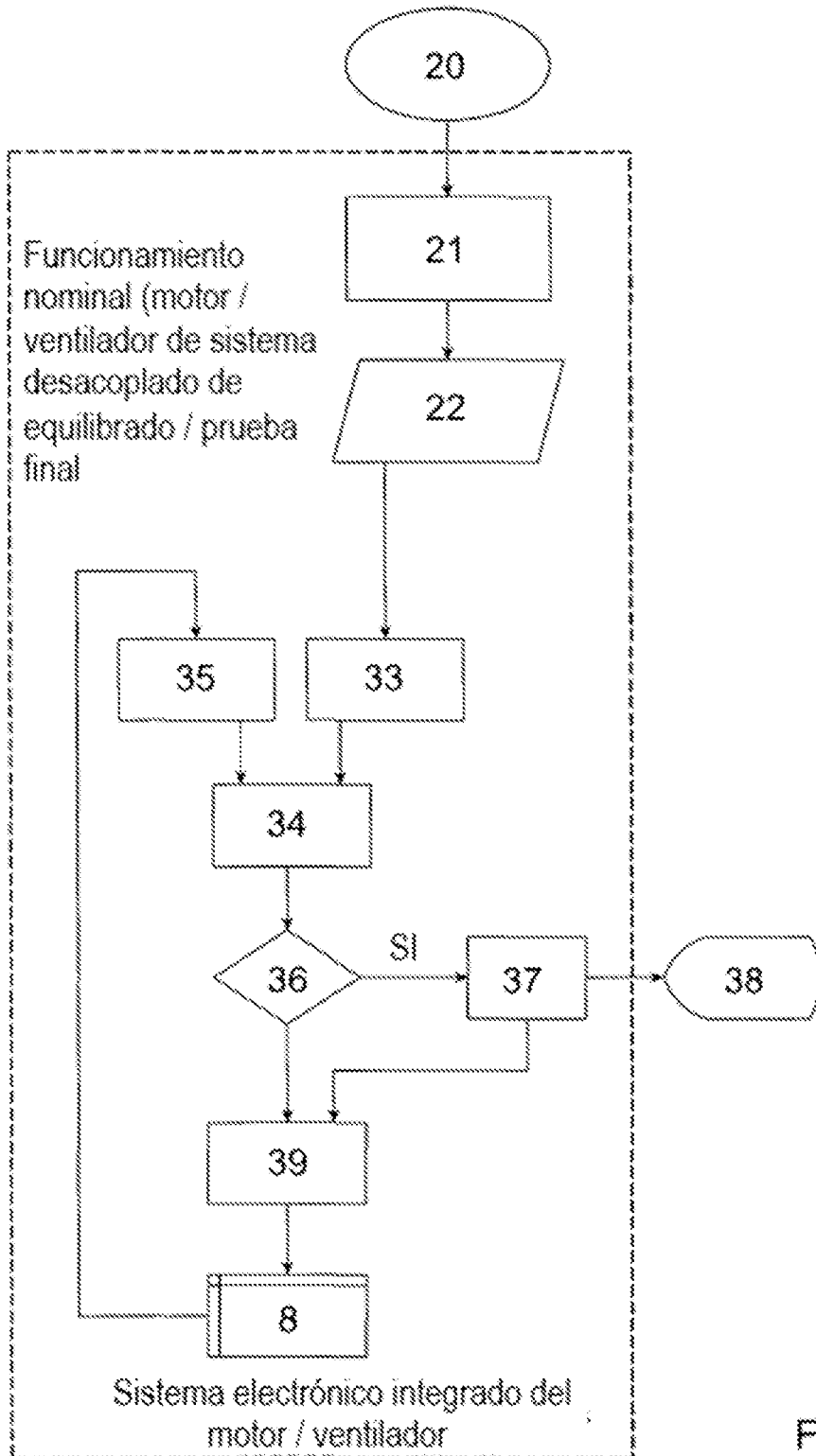


Fig. 3