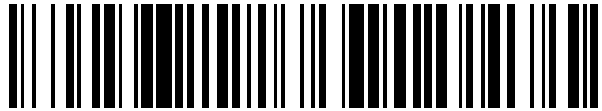


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 651**

51 Int. Cl.:

G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2013** E 13175459 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019** EP 2696251

54 Título: **Procedimiento para la supervisión de máquinas rotativas**

30 Prioridad:

07.08.2012 DE 102012015485

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

31.07.2020

73 Titular/es:

**PRÜFTECHNIK DIETER BUSCH GMBH (100.0%)
Oskar-Messter-Strasse 19-21
85737 Ismaning, DE**

72 Inventor/es:

**LÖSL, JOHANN;
BECKER, EDWIN y
GÖHLICH, HORST**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 776 651 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 la supervisión de máquinas rotativas

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la supervisión de máquinas rotativas, en particular aerogeneradores, que están provistas de una pluralidad de sensores para la detección de parámetros físicos.

10 Para la supervisión de los componentes mecánicos de máquinas rotativas como, por ejemplo, aerogeneradores, se ha asentado la supervisión de estado por diagnóstico de vibraciones. En este sentido, las vibraciones de los componentes individuales se registran permanentemente como una variable descriptiva del estado. Por medio de sistemas en línea se pueden enviar los datos medidos permanentemente a un centro de servicio. Esto ofrece la posibilidad que poder supervisar una pluralidad de instalaciones independientemente de su lugar de emplazamiento. Si, a partir de las variables de vibración medidas, se pueden extraer conclusiones sobre incipientes daños de los componentes, se informa al operador de la instalación. Este último puede ahora reaccionar con prontitud, dependiendo del tipo y la extensión del daño.

20 En el caso de un aerogenerador, por ejemplo, el análisis de las variables de vibración es en parte difícil debido a la gran complejidad del aerogenerador como construcción global. La pluralidad de influencias, así como su recíproco solapamiento, hace en parte imposible una interpretación unívoca de la causa de las vibraciones con las herramientas convencionales. A ello se añade el problema de que el creciente número de instalaciones que deben vigilarse, así como el perfeccionamiento de los sistemas de medición hacia un registro de los estados continuo, generan cantidades de datos cada vez mayores.

25 Generalmente se diferencia en la supervisión de estados de máquinas entre nivel 1, nivel 2 y nivel 3, conteniendo el nivel 1 la supervisión de valores de medición, por ejemplo, valores de medición de vibraciones, sobre la base de valores umbral predeterminados; el nivel 2, un diagnóstico, generalmente por parte de un experto en un centro de vigilancia, para responder a la pregunta de "¿qué daño se presenta?", y el nivel 3, un análisis de problemas y causas de fallos.

30 Un procedimiento utilizado frecuentemente en la supervisión de estado de máquinas se designa como análisis modal de fallos y efectos (FMEA, por sus siglas en inglés), entendiéndose por tal una determinada manera de proceder sistemática en el análisis de un sistema para detectar posibles tipos de estado de fallo, sus causas y sus efectos sobre el comportamiento del sistema. Un ejemplo de la utilización de un procedimiento FMEA en la supervisión de un aerogenerador se describe en el documento DE 10 2008 006 370 A1, estableciéndose determinados números característicos para determinados componentes del aerogenerador que se obtienen como producto de diferentes valores indicadores como la frecuencia de la aparición de un determinado fallo y la severidad del efecto de este fallo, pudiendo utilizarse estos números característicos, entre otras cosas, para la evaluación del esquema diagnóstico, del estado de máquina actual y del riesgo de fallo.

40 Además, en la supervisión del estado de máquinas se emplean procedimientos estadísticos para limpiar los conjuntos de datos de medición, a menudo muy extensos, de la información redundante mediante la formación de clústeres de datos. Un ejemplo de ello es el procesamiento de datos con ayuda de mapas autoorganizados (SOM, por sus siglas en inglés), lo que fue propuesto por primera vez por T. Kohonen en 1982.

45 En el documento WO 2010/011918 A2 se describe el nivel 1 de supervisión de máquinas mediante formación de SOM por medio del seguimiento del curso temporal del denominado fallo de cuantificación del SOM formado. Además, debe mencionarse también que los SOM también pueden utilizarse para la determinación del tipo de fallo. También en el documento US 2010/0114806 A1 se describe la utilización de SOM en la supervisión de máquinas.

50 En el documento US 2008/0033898 A1 se describe la supervisión de un sistema de aire acondicionado por medio de SOM. En el documento US 2009/0192693 A1 se describe el control de un motor de combustión utilizando SOM. En el documento EP 0 845 720 A1 y en el documento DE 197 34 947 A1 se describe la utilización de SOM en el control de centrales eléctricas, mencionándose también en el documento EP 0 845 720 A1 que, a partir de la evaluación de patrones que surgen en los SOM, se puede determinar el tipo de fallo que aparece en el funcionamiento de la central eléctrica.

55 En el documento EP 2 472 440 A1 se describe la utilización de SOM en la supervisión del estado de instalaciones de producción, proponiéndose varios SOM diferentes para distintas bases temporales y diferentes grupos espaciales de los datos proporcionados por los sensores; los diferentes grupos espaciales pueden referirse, por ejemplo, a diferentes partes de la instalación.

60 En el artículo "Condition Monitoring: Lernfähiges Online-Diagnosewerkzeug optimiert Industrieanlagen", de C. W. Frey *et al.*, en "Intelligenter Produzieren", edición 2009/5, páginas 38 a 39, se describe la utilización de SOM para instalaciones industriales, mencionándose una supervisión de instalaciones mediante seguimiento del fallo de cuantificación utilizando una denominada visualización de matriz U.

En el artículo "A Process Monitoring System Based on the Kohonen Self-Organizing Maps" de S.-L. Jämsä-Jounela *et al.*, en "Control Engineering Practice" 11 (2003), páginas 83 a 92, se describe la utilización de SOM en conexión con reglas heurísticas para la supervisión del estado de instalaciones, por ejemplo, una instalación de fundición de cobre.

5 En el artículo "Gear Box Condition Monitoring Using Self-Organizing Feature Maps" de G. Liao *et al.*, en "Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", Part. C: Journal of Mechanical Engineering Science 2004, 218, páginas 119 a 129, se describe una supervisión de transmisiones mediante visualización de la matriz U de SOM.

10 En el artículo "Modified Self-Organizing Map for Automated Novelty Detection Applied to Vibration Signal Monitoring" de M. L. D. Wong *et al.*, en "Mechanical Systems and Signal Processing" 20, 2006, páginas 593 a 610, se describe la supervisión de cojinetes por medio de SOM.

15 En el documento EP 1 640 894 A1 y en el documento EP 1 777 601 A1, así como en el artículo "Real Time Classification Algorithm for Recognition of Machine Operating Modes and by Use of Self Organizing Maps" de G. Vachkov *et al.*, en "Turk J. Elec. Engin." 12, 2004, páginas 27 a 42, se describe la utilización de SOM para la detección del estado de funcionamiento momentáneo, estableciéndose para cada estado de funcionamiento conocido un SOM propio.

20 En el documento WO 2011/143531 A1 y el artículo "Wind Turbine Performance Assessment Easy-Multi Machine Modelling Approach" E. Lapira *et al.*, en "Renewable Energy" 45, 2012, páginas 86 a 95, se describe la utilización de SOM para la supervisión del estado de aerogeneradores, evaluándose el fallo de cuantificación para detectar estados de funcionamiento críticos.

25 Es objetivo de la presente invención crear un procedimiento para la supervisión de una máquina rotativa, por ejemplo, un aerogenerador, en particular una pluralidad de tales máquinas, que detecte de manera eficiente y fiable estados de fallo y también permita una clasificación eficiente de los fallos.

Este objetivo se resuelve de acuerdo con la invención mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 26.

30 En la solución de acuerdo con la invención es ventajoso que, mediante la conexión de conocimiento inicial basado en reglas con respecto a estados de funcionamiento básicos ya entendidos, generalmente sencillos, con una reducción de datos estadísticos por medio de SOM, se pueden detectar y evaluar estados de fallo de la máquina de manera particularmente eficiente y fiable. La utilización de un procedimiento basado en conocimiento para la creación de un modelo de arranque con un conjunto de reglas para la ejecución de la supervisión asegura una selección útil y sistemática de los parámetros que deben supervisarse por medio de SOM, junto a una ponderación adecuada y estructura útil de los SOM. El modo de proceder con varios niveles en el análisis SOM, en el que, partiendo de un SOM de referencia relativamente amplio y, por tanto, "aproximado", se efectúa un perfeccionamiento de la búsqueda de fallos por medio del establecimiento, basado en reglas, de SOM de diagnóstico más específicos, contribuye a este respecto a una búsqueda de fallos eficiente, pero también específica.

40 Si se debe supervisar una pluralidad de máquinas más o menos parecidas, mediante la catalogación de las máquinas individuales por medio de la asignación de un número característico de instalación referido al tipo de los componentes y/o al emplazamiento, se puede diseñar la inicialización de la operación de supervisión de manera particularmente sencilla y eficiente, adoptándose, en el caso de que el número característico de instalación de la máquina en cuestión sea idéntico o suficientemente parecido al de otra máquina ya supervisada, el conocimiento basado en reglas para el modelo de arranque o el SOM de referencia.

50 El establecimiento basado en conocimiento del modelo de arranque puede efectuarse, por ejemplo, utilizando un procedimiento FMEA, utilizando gráficos de Markov, utilizando redes de Petri y/o utilizando un análisis de tipo de falla por medio de un procedimiento de análisis de árbol de fallas (FTA). Preferentemente, se utiliza un procedimiento FMEA.

Diseños preferentes de la invención se indican en las reivindicaciones dependientes.

55 A continuación, se explican con más detalle a modo de ejemplo ejemplos de realización de la invención con ayuda de los dibujos adjuntos. A este respecto, muestran:

La Figura 1 una vista esquemática de un aerogenerador;

60 la Figura 2 un diagrama con una representación esquemática de un ejemplo de un procedimiento de supervisión de acuerdo con la invención; y

las Figuras 3 a 11 diferentes ejemplos para representaciones 3D de SOM obtenidos en la práctica.

65 En la figura 1 se muestra esquemáticamente un aerogenerador que presenta un rotor 10 con un buje 12 para tres palas de rotor (de ellas se muestran en la figura 1 dos palas de rotor 14A, 14B). El rotor 10 está instalado en alineación

horizontal en una góndola 16 que aloja un generador 18 que es accionado por el árbol de rotor 20 para una transmisión 22. La góndola 16 está instalada en torno a un eje vertical de manera giratoria en una torre 24 y presenta un sensor 26 para la medición de la velocidad del viento y la dirección del viento. Además, está previsto un sensor 28 para la detección del número de revoluciones del rotor 10.

5 Las palas de rotor 14A, 14B se pueden regular en cada caso por medio de una regulación de pala 32 en torno a su eje longitudinal con respecto al buje 12 para poder realizar de la manera habitual una regulación de inclinación de las palas de rotor 14A, 14B.

10 Además, está prevista para la supervisión de estado de diagnóstico de vibraciones del aerogenerador una pluralidad de sensores de vibración en los componentes relevantes de la instalación, por ejemplo, un sensor de vibraciones 34 de medición horizontal en el cojinete principal de rotor 36, un sensor de vibraciones 38 de medición horizontal en el lado A del generador 18 (también designado como "DE", de "Driving End"), y otro sensor de vibraciones 40 de medición horizontal en el lado B del generador (también "NDE", de "Non-Driving-End"). Además, la transmisión 22 está provista
15 generalmente de varios sensores de vibración, por ejemplo, un sensor de vibraciones 42 de medición horizontal para el engranaje planetario de la transmisión, un sensor 44 de medición axial para el engranaje intermedio de la transmisión 22, así como un sensor 46 de medición vertical para la etapa de salida de la transmisión 22.

20 Generalmente los sensores de vibración son sensores de aceleración en rangos de frecuencia altos y también muy bajos.

Los datos detectados por los diferentes sensores se recogen en un equipo de transferencia de datos 48 y se transmiten a una unidad de procesamiento de datos 49 en el aerogenerador 10 o cerca de él y/o a un punto de diagnóstico 50
25 dispuesto a distancia del aerogenerador 10. La unidad de procesamiento de datos 49 puede estar instalada también aguas arriba de un equipo de transferencia de datos 48 para proporcionar un procesamiento previo de los datos recabados por los sensores antes de que estos sean transmitidos al punto de diagnóstico 50.

El punto de diagnóstico comprende generalmente una unidad de procesamiento de datos 52 para la preparación de los datos recibidos, así como un equipo de visualización 54 para la presentación de los datos preparados. La
30 transferencia de datos al punto de diagnóstico 50 se efectúa generalmente por Internet. En particular en zonas con mala conexión a Internet es ventajoso efectuar un procesamiento de datos lo más amplio posible antes de que los datos sean transmitidos al punto de diagnóstico 50.

35 Generalmente, un operador de instalaciones opera una pluralidad de aerogeneradores que pueden ser del mismo o de distinto tipo, pudiendo diferenciarse también instalaciones del mismo tipo por los componentes individuales utilizados en el caso individual como, por ejemplo, el tipo de generador y el tipo de transmisión. Además, las instalaciones se diferencian generalmente en cuanto a su emplazamiento o en cuanto a las condiciones de su emplazamiento: por ejemplo, para el funcionamiento de la instalación desempeña un papel importante la relación con los aerogeneradores vecinos, es decir, si un determinado aerogenerador, por ejemplo, está en segunda fila, la
40 topografía del entorno (por ejemplo, emplazamiento en una colina o en un collado), así como la vegetación y la edificación del entorno. Para especificar o clasificar una instalación individual en cuanto a sus componentes y su emplazamiento, se determina preferentemente un número característico de instalación para cada aerogenerador 10 que especifica al menos una de las variables tipo de transmisión, tipo de inversor, tipo de pala del rotor, tipo de generador y tipo de torre, así como el emplazamiento de la instalación en cuanto a la relación con las instalaciones
45 vecinas, la topografía del entorno, y la vegetación y la edificación del entorno.

Una dificultad en el análisis de vibraciones de aerogeneradores es el solapamiento de muchos factores de influencia. En función de la velocidad del viento, el ángulo de ataque del viento, el ángulo de ajuste de la pala, etc., resultan
50 diferentes superposiciones de impulsos y transmisiones de vibraciones. Esto significa que no se pueden reproducir diferentes estados de fallo de manera unívoca en espectros de vibración. Si se produzcan frecuencias de fallo características, se puede inferir la presencia de un fallo. Sin embargo, si no se puede identificar ninguna frecuencia de fallo en el espectro, esto no significa que no haya ningún fallo. Además, existe en el mercado una pluralidad de instalaciones de diferentes tipos constructivos, lo que hace difícil una evaluación unitaria. Incluso instalaciones del mismo tipo pueden poseer diferentes configuraciones de componentes. Todo ello influye en la caracterización
55 vibratoria de la instalación, de tal modo que es difícil establecer afirmaciones sobre el comportamiento vibratorio de determinadas instalaciones con los métodos convencionales.

Otro problema se refiere a la naturaleza de los parámetros de tendencia de aerogeneradores. El curso de la tendencia también está sujeto a fluctuaciones debido a la fluctuación de los factores de influencia. Por lo tanto, a menudo se
60 superan los límites de aviso o alarma sin que exista ningún mal funcionamiento de la instalación. Ciertamente para este fin existe el nivel 1 de supervisión, sin embargo, la cantidad de trabajo puede aumentar considerablemente con un elevado número de falsas alarmas. Por lo tanto, deben evitarse en la medida de lo posible las falsas alarmas. El almacenamiento de datos también puede causar dificultades. En la supervisión de muchos cientos de instalaciones durante un largo período de tiempo, el esfuerzo de almacenamiento es cada vez mayor. Esto se ve reforzado por el desarrollo
65 de sistemas de medición más potentes que miden más rápido y más extensamente. Asimismo, la transferencia de datos puede acarrear problemas. Los aerogeneradores se abren paso cada vez más en el suministro

de energía de regiones cuya infraestructura tecnológica informática dificulta el envío continuo de grandes cantidades de datos. En este caso, se requiere la transmisión de datos comprimidos sin, sin embargo, reducir demasiado la calidad de la supervisión.

5 Un ejemplo para el modo de proceder de acuerdo con la invención en la supervisión del estado de una máquina, por ejemplo, del aerogenerador 10, se muestra en la figura 2. En una primera etapa, se obtienen datos de sensor de arranque en al menos un estado de funcionamiento básico de la máquina. En este sentido, se remite a estados de funcionamiento de la máquina sencillos, fáciles de entender (generalmente casi estacionarios) que en cierto modo constituyen "estados normales"; en la figura 2, tales estados de funcionamiento básicos se designan en el diagrama con A, B y C.

10 Sobre la base de los datos de sensor de arranque se establece entonces utilizando un procedimiento basado en el conocimiento, por ejemplo, un procedimiento FMEA, un modelo de arranque para la máquina con un conjunto de reglas para la realización de la supervisión, determinando el conjunto de reglas que parámetros deben supervisarse de qué manera y con qué ponderación y qué datos de sensor deben obtenerse y utilizarse para ello. En particular, el conjunto de reglas también establece de qué manera y con qué datos se establecerán los SOM que se utilizarán para la supervisión del estado.

15 En el establecimiento del modelo de arranque se puede utilizar, por ejemplo, al menos una de las siguientes variables (con respecto a otros detalles, véase también el documento DE 10 2008 006 370 A1):

20 un número de prioridad de diagnóstico que es el producto de los siguientes valores indicadores: la severidad del efecto de la aparición de un fallo concreto con respecto a la capacidad de funcionamiento de la máquina, los costos de seguimiento específicos de la máquina cuando se produce el fallo y posibilidad de corrección del fallo;

25 un número de prioridad de vibración que es el producto de los siguientes valores indicadores: frecuencia con la que se supera un valor límite de vibración predeterminado, la severidad del efecto de la superación del valor límite de vibración con respecto a la capacidad de funcionamiento de la máquina, y probabilidad de detección de la superación del valor límite de vibración por medio del sistema de detección de vibraciones previsto;

30 un número de prioridad de riesgo, que es el producto de los siguientes valores indicadores: frecuencia con la que el fallo predeterminado aparece durante el funcionamiento de la máquina, la severidad del efecto de la aparición del fallo con respecto a la capacidad de funcionamiento de la máquina, y probabilidad de detección de la aparición del fallo por medio del esquema de diagnóstico utilizado y el sistema de diagnóstico.

35 A este respecto, la máquina puede dividirse en varios componentes, en el caso de un aerogenerador, por ejemplo, torre, cojinete principal de rotor, generador, inversor, transmisión, etc., y para cada uno de los componentes, puede determinarse al menos uno de los números de prioridad anteriormente mencionados.

40 Básicamente, en el establecimiento, basado en un procedimiento FMEA, del modelo de arranque, la información ya existente con respecto a la máquina en cuanto a la aparición de determinados fallos debe incorporarse de una manera basada en reglas a la supervisión de estado para que la posterior evaluación estadística de los datos por medio de los SOM sea particularmente eficiente. Mediante el procedimiento estadístico, también los estados de funcionamiento que se encuentran entre los estados básicos fácilmente accesibles y comprensibles A, B, C deben ser accesibles para el análisis de fallos para mejorar la comprensión general de las instalaciones.

45 Sin con ayuda del número característico de instalación de la instalación que debe ser supervisada en concreto se detecta que ya está en funcionamiento y se supervisa una máquina "similar", en concreto cuando otra instalación tiene el mismo número característico de instalación o el número característico de instalación de la otra instalación no se diferencia en más de un valor predefinido del número característico de instalación presente, los datos de sensor de arranque o el modelo de arranque con el conjunto de reglas pueden ser tomados de esta otra instalación, asegurando la identidad o la similitud del número característico de instalación que las dos instalaciones realmente también son suficientemente equiparables entre sí.

50 En principio, un SOM permite mostrar datos de cualquier dimensión en mapas bidimensionales o tridimensionales, definiéndose el espacio de entrada por los datos que deben procesarse, por ejemplo, un conjunto de datos con m variables y con n mediciones. Los vectores de datos individuales se asignan mediante cálculos de distancia de vectores y relaciones de vecindad a una coordenada en el campo de salida que se puede interpretar como mapa, estando numeradas las coordenadas de salida secuencialmente. Para posibilitar una asignación de los datos, a cada coordenada se le asigna al principio un denominado vector de peso cuya dimensión se corresponde con el número m de variables del conjunto de datos de entrada. Para la asignación de un vector de datos a una coordenada del SOM, se calcula la distancia euclidiana entre todos los vectores de peso del SOM y el vector de datos, siendo designada la coordenada de salida cuyo vector de peso está a la menor distancia del vector de datos como unidad de mejor correspondencia (BMU por sus siglas en inglés).

65 Al entrenar el SOM, el vector de peso de la BMU se adapta al respectivo vector de datos, adaptándose también los

vectores de peso de las coordenadas circundantes de la BMU en cierta medida al vector de datos, lo que está determinado por la función de vecindad.

5 Si se ha entrenado un SOM con un conjunto de datos que se ha obtenido durante un determinado tiempo de funcionamiento normal de la instalación, se puede considerar el SOM generado a este respecto como "SOM de referencia", ya que representa algún tipo de estado normal o estado de referencia de la instalación.

10 El grado de divergencia del vector de datos actual, es decir, del estado actual de la instalación, con respecto al estado de referencia se puede estimar por medio del denominado fallo de cuantificación, que representa la distancia euclidiana entre el vector de datos actual y el vector de peso de la BMU.

15 Una visualización y análisis de diferentes estados o "fases" dentro del conjunto de datos con el que se ha entrenado el SOM se puede efectuar mediante la representación de la denominada matriz U ("Unified Distance Matrix"), donde para cada coordenada se calculan y muestran las distancias euclidianas de su vector de peso a las de sus coordenadas vecinas directas.

20 La información sobre la frecuencia de aparición comparada con los estados de la matriz U puede reproducirse por medio de la llamada matriz de aciertos, representándose para cada coordenada cuántos vectores de datos del conjunto de datos representa.

25 En la presente invención, sobre la base del conjunto de reglas del modelo de arranque, se seleccionan datos de sensor que se obtienen en una fase de funcionamiento de referencia de la máquina y luego se utilizan para la creación de un SOM de referencia sobre la base del conjunto de reglas. Así, de esta manera se puede asegurar, por ejemplo, que solo se evalúen datos de sensor que son relevantes o críticos para la máquina que debe supervisarse. Así, en el caso de un aerogenerador, por ejemplo, a partir de los datos de sensor de arranque y los procedimientos FMEA, podría resultar que los datos del sensor 44 del engranaje intermedio de la transmisión 22 no son relevantes, ya que este engranaje intermedio no sufre nunca ningún daño dentro de la vida útil habitual de la instalación.

30 En el caso de un aerogenerador, en el SOM de referencia se utilizan generalmente la velocidad del viento y, dado el caso, la dirección del viento, el número de revoluciones y la potencia del aerogenerador, así como diferentes valores característicos de vibración medidos en diferentes puntos.

35 Preferentemente, en la presente invención, los SOM se inicializan de manera manual o determinista (es decir, se seleccionan así los vectores de peso iniciales), de tal modo que los mismos estados de funcionamiento de la máquina se disponen en todos los SOM en las mismas zonas (de coordenadas) de los SOM (por ejemplo, de tal modo que los estados de elevado número de revoluciones/potencia (carga plena) se sitúan siempre arriba a la derecha y los estados de parada siempre abajo a la derecha). Esto facilita considerablemente la evaluación de los SOM.

40 Como función de vecindad de los SOM se selecciona preferentemente una función de Gauss.

Dado el caso, puede ser necesario o útil interpolar los datos de medición de sensor utilizados con el fin de su comparabilidad con otros datos de medición para, por ejemplo, garantizar una cuadrícula temporal igual para todos los datos de medición de sensor.

45 Diferentes parámetros/variables dentro de un conjunto de datos pueden ponderarse de diferente manera en el SOM, de tal modo que una variable con un elevado valor de ponderación obtendrá una mayor influencia sobre los cálculos de distancia, lo que hace que el fallo de esta variable sea menor y, por otro lado, la estructura del mapa esté más dominada por esta variable. La ponderación de los parámetros individuales se obtiene con ayuda del modelo de arranque.

50 Además, en la presente invención preferentemente los valores de medición que superan un determinado valor límite, con respecto a un valor promedio de varios valores de medición, no son tenidos en cuenta en los SOM para evitar un falseamiento de los SOM debido a "amplitudes atípicas" en los datos de medición como las que pueden generarse, por ejemplo, por parte de técnicos descuidados, golpeteo de aves, fallos de sensores o similares. Por ejemplo, se puede calcular un promedio de las cien amplitudes más altas y después retirarse del conjunto de datos todos los datos de medición cuyo valor supere el valor "0,8 x valor promedio".

60 Si entre las máquinas supervisadas se encuentra una con un valor característico de instalación suficientemente similar o idéntico, se puede transferir, adicionalmente al modelo de arranque, también igualmente el SOM de referencia.

65 El SOM de referencia representa en cierto modo el punto de partida para la supervisión del funcionamiento de la máquina en cuanto a la aparición de fallos y debe representar, por tanto, esencialmente el estado normal o el estado sin fallos de la máquina ("buen estado"). A este respecto, durante una fase de funcionamiento de supervisión de la máquina, se sigue el curso temporal del fallo de cuantificación de los datos de sensor seleccionados por medio del conjunto de reglas con respecto al SOM de referencia, es decir, se compara el vector de datos correspondiente a los actuales valores de medición con el vector de peso de la BMU, representando la divergencia, es decir, el fallo de

cuantificación, por regla general una buena medida para la divergencia del estado momentáneo de la instalación con respecto al estado normal. Generalmente, a este respecto se siguen todos los parámetros incluidos en el SOM de referencia. Tan pronto como el fallo de cuantificación cumple un criterio predefinido por el conjunto de reglas, es decir, por ejemplo, superar un determinado valor umbral predefinido, se inicia una búsqueda de fallos, ya que se sospecha que, si existe tal divergencia entre el estado momentáneo de la instalación y el estado normal, es probable que exista un fallo (por ejemplo, desgaste excesivo de un componente) (en este sentido, el SOM de referencia actúa como "SOM de nivel 1").

Generalmente, en un caso de este tipo, también se transmite una alarma al punto de diagnóstico 50.

Dado que en el SOM de referencia están recogidos todos los parámetros del sistema de algún modo relevantes, ciertamente con ayuda del fallo de cuantificación con respecto al SOM de referencia se puede determinar que hay un fallo en algún lugar del sistema, pero por regla general no se puede determinar con más detalle dónde está el fallo o qué tipo de fallo es.

Con este fin, sobre la base del conjunto de reglas, se crea al menos un primer "SOM de diagnóstico" (o "SOM de nivel 2"; en el ejemplo de la figura 2 designado como "SOM de diagnóstico 1" y "SOM de diagnóstico 2") con un subconjunto de los datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión, que se evalúa con ayuda del conjunto de reglas para identificar la causa del fallo. La formación del subconjunto puede efectuarse a este respecto en cuanto a los momentos de medición y/o el número de sensores, es decir, en el SOM de diagnóstico solo se toma en consideración una parte de los momentos de medición y/o una parte de los sensores. Por ejemplo, del FMEA puede resultar que un determinado componente de la máquina es especialmente crítico con respecto a la propensión a fallos, de tal modo que se analiza en el detalle principalmente este componente por medio de un SOM de diagnóstico correspondientemente establecido. Generalmente, se incluyen en el SOM de diagnóstico también correspondientes subconjuntos de los datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de referencia para recoger la correspondiente información de "buen estado" en el SOM de diagnóstico.

La evaluación del SOM de diagnóstico comprende la creación de al menos un gráfico 3D del SOM de diagnóstico; En esas representaciones 3D, en cada caso uno de los parámetros considerados en el SOM de diagnóstico (por ejemplo, la amplitud de vibración medida por el sensor del cojinete principal del rotor) se traza para cada coordenada del SOM, resultando para determinados tipos de fallos por regla general típicas imágenes de SOM, de tal modo que un determinado fallo puede ser detectado y reconocido de una manera relativamente sencilla. La evaluación de los gráficos 3D se efectúa generalmente por medio de un correspondiente especialista en el punto de diagnóstico, pudiendo utilizarse como refuerzo un correspondiente procesamiento automático de imágenes, por ejemplo, con reconocimiento automático de patrones.

Para un mejor reconocimiento de divergencias en la fase de funcionamiento de supervisión, para la evaluación de la búsqueda de fallos del SOM se puede crear un SOM de buen estado correspondiente al respectivo SOM de diagnóstico con datos de sensor obtenidos durante la fase de funcionamiento de referencia de la máquina y se puede crear un gráfico 3D del SOM de buen estado para compararlo con el gráfico 3D del SOM de diagnóstico sobre la base del conjunto de reglas. En la evaluación del SOM diagnóstico se puede crear para el respectivo SOM de diagnóstico un gráfico 3D propio para al menos dos parámetros contenidos en el respectivo SOM de diagnóstico, seleccionándose estos parámetros sobre la base del conjunto de reglas, es decir, se observarán detalladamente por lo general los parámetros especialmente críticos en cuanto a fallos de acuerdo con el FMEA.

Básicamente, en la selección del SOM de diagnóstico, es decir, en la decisión sobre qué tipo de SOM de diagnóstico se observará en detalle en primer lugar, cuyos fallos de cuantificación serán tomados en consideración, es decir, por ejemplo, se selecciona en primer lugar el SOM de diagnóstico cuyo fallo de cuantificación (con respecto al actual vector de datos) es especialmente grande, ya que generalmente un gran fallo de cuantificación es un indicio de la existencia de un fallo. Por ejemplo, se puede elegir como SOM de diagnóstico un SOM cuyo fallo de cuantificación se sitúe por encima de un determinado valor umbral.

Básicamente, se pueden formar y evaluar también representaciones 3D de diferencias, extrayéndose, por ejemplo, un SOM de diagnóstico del correspondiente SOM de buen estado.

Preferentemente, para la creación de los SOM de diagnóstico se divide al menos una parte de los datos de sensor sobre la base del conjunto de reglas en al menos dos bandas de frecuencia (por ejemplo, el FMEA puede arrojar como resultado que determinados fallos de determinados componentes se reconocen especialmente bien en determinadas bandas de frecuencia). A este respecto, los SOM de diagnóstico se pueden diferenciar con respecto a la banda de frecuencia seleccionada de los datos de al menos uno de los sensores. Así, por ejemplo, puede ser útil crear para un determinado sensor de vibración varios SOM de diagnóstico que se diferencien en cuanto a la banda de frecuencia tomada en consideración.

En el caso de que no se logre identificar una causa de fallo a partir de la evaluación del primer o primeros SOM de diagnóstico, se crea al menos un segundo SOM de diagnóstico (en el ejemplo de la figura 2 designado como "SOM diagnóstico 3" y "SOM diagnóstico 4") con otro subconjunto de los datos de sensor obtenidos en la fase de

funcionamiento de supervisión para identificar la causa del fallo. De esta manera, se puede diseñar la búsqueda de fallos de manera especialmente eficiente: Utilizando las reglas de evaluación derivadas del FMEA, por ejemplo, se busca primero el fallo más frecuente o el más crítico en cuanto a sus consecuencias, estableciendo un primer SOM de diagnóstico (o, dado el caso, varios de estos primeros SOM de diagnóstico) que represente particularmente bien este fallo. En caso de que el fallo sea otro, este procedimiento no podrá identificar una causa clara del fallo a partir de este primer o de estos primeros SOM de diagnóstico, de tal modo que, por ejemplo, se buscará el segundo fallo más frecuente o más crítico estableciéndose un correspondiente segundo SOM de diagnóstico (o varios). Este modo de proceder escalonado se puede prolongar hasta que se pueda identificar una causa de fallo clara.

Dado que, en el transcurso de la fase de funcionamiento de supervisión, por un lado, se generan datos de sensor adicionales y, por tanto, información sobre la máquina (es decir, en comparación con la fase de funcionamiento de referencia) y, por otro lado, también en la búsqueda o identificación de fallos se obtienen conocimientos adicionales sobre el comportamiento de funcionamiento de la máquina, resulta conveniente supervisar y, dado el caso, modificar el modelo de arranque -y, por tanto, el conjunto de reglas- sobre la base de evaluaciones del SOM de referencia y/o de los SOM de diagnóstico. De esta manera, en el transcurso del funcionamiento de la máquina se puede lograr una optimización de la supervisión de estado, pudiendo perfeccionarse cada vez más en particular el modelo de arranque con el paso del tiempo.

Un modelo de arranque modificado o mejorado de este modo puede ponerse a disposición como modelo de arranque también de otros aerogeneradores que sean suficientemente equiparables a la presente instalación, es decir, que presenten un número característico de instalación suficientemente parecido o idéntico, pudiendo ponerse también a disposición un SOM de referencia completado con datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión como SOM de referencia para otras instalaciones similares.

A este respecto, puede ser en particular también conveniente modificar el SOM de referencia con al menos una parte de los datos de sensor obtenidos durante la fase de funcionamiento de supervisión para adaptar el SOM de referencia a cambios del estado de la instalación; esto es, por ejemplo, útil cuando se debe evitar una alarma permanente (en la forma de un fallo de cuantificación demasiado grande) debido al empeoramiento, condicionado por el funcionamiento, de un componente, es decir, que el estado de instalación empeorado debe determinarse como nuevo "buen estado".

Sobre todo en casos en los que la transmisión remota de datos a un punto de diagnóstico 50 está limitada de algún modo resulta conveniente crear los SOM ya localmente in situ en la instalación de procesamiento de datos 49 o cerca de la máquina que debe supervisarse, y después únicamente transmitir los datos contenidos en los SOM por medio de transmisión remota de datos al punto de diagnóstico 50 para conseguir una reducción de los datos transmitidos en comparación con los datos de sensor obtenidos localmente in situ. Sin embargo, se recomienda guardar los datos de sensor obtenidos en el lugar para permitir la creación retroactiva in situ de diferentes SOM de diagnóstico.

En la figura 3, se muestran ejemplos de gráficos SOM en representación 3D del valor característico de aceleración en la banda de frecuencia de 9 a 9,5 kHz del sensor de vibración en el lado B de generador de un aerogenerador en buen estado (izquierda) o con un daño de generador (derecha). A este respecto es obvio que el daño del generador tiene un efecto grave sobre el valor característico de vibración en este rango de frecuencia.

En la figura 4, se muestran representaciones 3D de SOM del valor característico de vibración en el cojinete principal de rotor de un aerogenerador con valoración de baja frecuencia (orden de 0,01 a 0,06) (izquierda) o con valoración de alta frecuencia (orden de 0,8 a 1,20) con frecuencia de dientes de engranaje planetario (derecha). A este respecto, se puede observar que sobre el cojinete principal actúa la mayoría de los impactos de vibración condicionados por turbulencias en el rango de viento medio, mientras que los efectos sobre el dentado planetario, sin embargo, son relativamente pequeños.

En las figuras 5 a 9 se muestran representaciones 3D de SOM del valor característico de vibración en el cojinete principal de rotor de un aerogenerador para diferentes rangos de frecuencia (figura 5: 10 Hz a 1 kHz; figura 6: orden de 0,01 a 0,06; figura 7: orden de 0,06 a 0,20; figura 8: orden de 0,08 a 1,20; y figura 9: orden de 1,80 a 2,20), mostrándose a la izquierda en cada caso el buen estado y, a la derecha, el estado tras un daño total del generador.

Preferentemente, el aerogenerador está equipado con un sistema que permite registrar cambios en la velocidad del viento y dirección del viento antes de su llegada al aerogenerador (y al sensor instalado en él) para que el aerogenerador pueda reaccionar proactivamente a tales cambios, por ejemplo, mediante correspondiente ajuste de la inclinación. Así, el aerogenerador puede reaccionar de manera óptima, por ejemplo, a ráfagas entrantes para optimizar el rendimiento energético y minimizar la carga de los componentes del aerogenerador (cuando las ráfagas ya llegan al aerogenerador, por regla general ya es tarde para correcciones). Un registro predictivo del viento de este tipo puede efectuarse, por ejemplo, por medio de sistemas LIDAR (light detection and ranging). Por ejemplo, el viento puede medirse a una distancia de 80 m de la instalación, lo que, con una velocidad del viento de 20m/s, da como resultado un tiempo de reacción de 4 segundos. La efectividad de una regulación proactiva de este tipo se puede supervisar por medio de técnicas de análisis SOM descritas en la presente memoria.

La presente invención combina el análisis basado en reglas convencional de los estados de instalación con una

evaluación estadística de datos especial, por medio de lo cual se hace posible una gran reducción de datos mediante la eliminación de información redundante. El análisis basado en reglas por medio de procedimientos FMEA tiene a este respecto esencialmente la función de dirigir el "ángulo de visión" de la evaluación estadística hacia el objeto correcto, por medio de lo cual mejora considerablemente la eficiencia y la fiabilidad de la evaluación estadística. Además, mediante una correspondiente alimentación del progreso de reconocimiento del análisis estadístico al análisis basado en reglas se puede mejorar con creciente duración del funcionamiento de la instalación.

Para el análisis de nivel 1 se utiliza en primer lugar un fallo de cuantificación relativamente global en el que se incluyen todos o casi todos los parámetros medidos para detectar la aparición de un fallo. En el siguiente análisis de nivel 2 se utiliza conocimiento ya existente basado en reglas para encontrar la causa del fallo por medio de una evaluación de SOM de la manera más eficiente y sencilla posible. Aunque en este sentido por regla general también se necesitará la ayuda de un especialista de nivel 2 cualificado, el trabajo puede facilitarse para este último por el hecho de que el mismo fallo causa el mismo cambio topológico en el SOM para diferentes instalaciones del mismo tipo y, por lo tanto, puede detectarse fácilmente con solo ver las representaciones en 3D de los SOM, si el mismo fallo ya ha ocurrido una vez en la presente instalación o en una instalación del mismo tipo. La reducción de datos concomitante a la evaluación estadística permite, por ejemplo, la realización de secuencias de medición muy rápidas, por medio de lo cual, por ejemplo, en el caso de un aerogenerador, se pueden detectar y analizar breves impulsos de vibración condicionados por turbulencias.

Básicamente, la utilización de procedimientos FMEA previos permite definir en el análisis de nivel 2 los gráficos SOM "correctos" desde el punto específico de la instalación y del funcionamiento para trabajar con los valores característicos que describen fallos "correctos".

Con la medición rápida y simultánea de los parámetros individuales, se pueden tratar y analizar no solo los fenómenos de turbulencia, sino también los que se producen durante la transición entre los diferentes estados de funcionamiento de la instalación como, por ejemplo, durante la puesta en marcha de la planta, registrándose las trayectorias en los SOM y siendo asignadas al estado correspondiente, por ejemplo, puesta en marcha o parada de la instalación. De esta manera, se posibilita, por ejemplo, un seguimiento de resonancia, por ejemplo, cómo una instalación pasa durante la puesta en marcha por diferentes frecuencias en una frecuencia de resonancia de un componente.

Con respecto al análisis SOM orientado por banda de frecuencia de un aerogenerador, puede ser útil, por ejemplo, dividir la señal de los sensores de vibración en los siguientes cuatro rangos de frecuencia: (1) 0 a 10 Hz: En este caso, se dan vibraciones de baja frecuencia de torre, góndola y palas, es decir, vibraciones estructurales; (2) 10 Hz a 1 kHz: En este rango se dan vibraciones de frecuencia media que son consecuencia de la orientación de la instalación; (3) 1 kHz a 30 kHz: En este caso, se dan vibraciones de alta frecuencia de transmisiones y cojinetes (causadas por componentes como anillos de cojinete, elementos rodantes y ruedas dentadas); (4) 30 kHz a 200 kHz: En este caso, se dan frecuencias que pueden utilizarse para la detección temprana de daños por medio de pulsos de choque, SWAN (análisis de ondas de tensión) o AE (emisión acústica); estas son vibraciones en el rango de las frecuencias de resonancia del emisor.

Las variables de funcionamiento velocidad del viento, potencia de generador y número de revoluciones se miden continuamente de la manera más simultánea posible en el CMS autosuficiente o integrado con una tasa de medición adaptada. Con estas variables medidas, por ejemplo, se pueden determinar en dos dimensiones las curvas características de potencia y número de revoluciones de cada uno de los aerogeneradores y compararlas con el estado objetivo. Comparando los promedios de diez minutos, esto se corresponde con el mapa de rendimiento estático del aerogenerador, si se comparan los promedios de un minuto con el mapa de rendimiento dinámico (por ejemplo, condicionado por turbulencias) y se comparan los valores por segundo, se pueden evaluar, por ejemplo, influencias relacionadas con holguras. O también se pueden evaluar tendencias en semanas, meses o años del comportamiento del aerogenerador y evaluarse las variables procesuales en busca de cambios.

A este respecto, por tanto, al menos una parte de los datos de sensor se promedian en una cuadrícula temporal y con los valores promediados en el tiempo se crea un SOM de diagnóstico. Preferentemente, a este respecto los datos de sensor se promedian en varias cuadrículas temporales diferentes (por ejemplo, de un minuto y de diez minutos), creándose para cada cuadrícula un SOM de diagnóstico independiente, y comprándose el SOM de diagnóstico así creado con un SOM de diagnóstico creado sobre la base de los correspondientes datos de sensor no promediados (por ejemplo, obtenidos en intervalos de segundo).

Si se utilizan gráficos SOM de las variables de medición relevantes para el funcionamiento del aerogenerador, se puede documentar muy rápidamente "de un vistazo" el comportamiento de entorno y de funcionamiento del aerogenerador y también comparar aerogeneradores vecinos entre sí. Si se producen divergencias o se muestran gráficos SOM modificados, se pueden delimitar "interferencias", y el especialista puede analizar de manera específica las causas por medio de su habitual diagnóstico basado en conocimiento.

Parametrización, resolución, escala y representación de los gráficos SOM se determinan por medio de procedimientos FMEA referidos a máquinas y aplicaciones y se dejan igual para instalaciones y fenómenos equiparables. Esto permite de manera muy sencilla también comparar máquinas e instalaciones similares o posibilita la reducción de datos, la

supervisión de la calidad de los datos y/o una modelación simplificada. Se pueden identificar los límites de las fases en la matriz-U y calcular las trayectorias en los estados inestables para identificar los fenómenos. Las gráficas SOM pueden ser generadas diariamente, semanalmente, mensualmente, sumadas y/o ser analizadas en cuanto a cambios.

- 5 El comportamiento de funcionamiento y procesual se puede describir "de un vistazo". Si también se incluyen las distribuciones de frecuencia, se hacen posibles evaluaciones del ciclo de vida y análisis de peligros. A este respecto, según los fenómenos que se vayan a evaluar, se puede utilizar una ponderación adecuada similar a la utilizada en el análisis convencional de señales (por ejemplo, el análisis de Pareto 80/20)

10 Otros ejemplos

A continuación, se describen algunos ejemplos del modo en que pueden utilizarse SOM en la supervisión de estado de aerogeneradores.

15 Detección de fallos de sensores y de sistema

Los gráficos SOM pueden utilizarse, por ejemplo, para realizar una lectura de la eficiencia con que ha funcionado un aerogenerador o de si ha habido largos tiempos de inactividad con viento, observándose gráficos de la velocidad del viento y gráficos del rendimiento del aerogenerador. Así, en los gráficos orientados en la misma dirección (los mismos estados de instalación con las mismas coordenadas SOM) puede observarse de un vistazo, donde había una producción adecuada o donde el viento era fuerte y la instalación no producía ningún rendimiento. Si, por ejemplo, el aspecto del gráfico SOM del rendimiento permanece invariable, pero, por el contrario, la señal de la velocidad del viento presenta un aspecto inusual, se puede concluir un fallo paulatino del sensor de viento. De manera similar, sobre la base de los gráficos SOM se pueden detectar errores en la configuración del sistema, en los applets, en el cableado, en el posible intercambio de las conexiones de los sensores para el rendimiento y la velocidad del viento, etc.

Evaluación de las condiciones in situ para los aerogeneradores y reconocimiento de las características de la instalación

30 Si se comparan distribuciones de frecuencia SOM y gráficos SOM de aerogeneradores idénticos entre sí, se pueden identificar buenas y malas instalaciones "de un vistazo", y también se puede detectar de manera relativamente sencilla como se comporta el aerogenerador individual, por ejemplo, en fases de viento intenso. Adicionalmente, se pueden detectar a partir de los gráficos SOM de la velocidad del viento y del rendimiento diferencias condicionadas por el emplazamiento e influencias recíprocas, pueden observarse "de un vistazo" y entrenarse los correspondientes modelos.

35 Si se añade el número de revoluciones como variable de observación y guía adicional, se puede extraer la correspondiente caracterización de la instalación (resistente a la velocidad, de velocidad variable, regulada por inclinación, regulado por estabilidad), o se pueden reconocer particularidades en el comportamiento de la instalación. Asimismo, se puede extraer de los gráficos SOM de los aerogeneradores de polos conmutables si se conmuta de manera adecuada o, por medio del número de aciertos, se puede valorar si, dado el caso, se conmuta con excesiva frecuencia.

Estimación del comportamiento funcional de aerogeneradores

45 Si se evalúan, además de gráficos SOM de la velocidad del viento, el rendimiento y el número de revoluciones también gráficos SOM de otras variables de funcionamiento, proceso y vibración, se pueden reconocer "de un vistazo" otras características de la instalación y divergencias de la marcha y el comportamiento de funcionamiento normales. Esto incluso hace posible la supervisión del rendimiento de los diferentes aerogeneradores, de lo que se desprende, por ejemplo, que un aerogenerador es capaz de funcionar en vacío mucho más a menudo con vientos bajos que una instalación vecina. Si se utilizan CMS que miden simultáneamente con tasas de medición más elevadas, tales divergencias no se ponen de manifiesto solo al cabo de semanas, sino ya al cabo de pocos días. Esto significa que un sistema clásico de supervisión de estado también puede utilizarse para el control funcionamiento y calidad de instalaciones de similar construcción. La "nitidez" y el contenido informativo preferente de los gráficos son parametrizados de antemano por el especialista para la aplicación específica.

55 Estimación del comportamiento vibratorio general de los aerogeneradores

60 En la VDI 3834, sobre la base de la evaluación de las características de vibración v y a , que se determinan a partir de una carga del 20 %, se decide la calidad de funcionamiento de los respectivos aerogeneradores. Si para la "evaluación de calidad" se utilizan gráficos SOM, en cuanto al rendimiento puede ser controlada y evaluada "de un vistazo" incluso toda la zona de trabajo con respecto a la calidad de la vibración. De acuerdo con la invención, para ello se podría establecer un "enmascaramiento" o una ventana de enmascaramiento para este para deducir valores característicos dependientes del funcionamiento. Si se determinar divergencias en las amplitudes de los gráficos, a partir de la caracterización básica de los gráficos puede concluirse en qué estado existe potencial de mejora con respecto a las vibraciones, actúan resonancias y/o debe mejorarse el "confort de máquina". O se comparan los valores característicos de vibración detectados con diferentes tasas de medición para deducir la dinámica y/o, dado el caso, turbulencias

involucradas en los valores de vibración. En los gráficos se trabaja preferentemente con dimensiones basadas en estándares de vibración y parámetros nominales. La versión estándar es posible, pero confusa.

- 5 En los gráficos se pueden reconocer "de un vistazo" rangos de vibración críticos y se puede analizar y evaluar su efecto específico en cuanto a la dirección y los componentes. Una cartografía/ventana de los gráficos se hace posible y puede ser comparada, por ejemplo, con análisis FEM.

Evaluación de las vibraciones de torsión del tren de tracción

- 10 En la mayoría de los trenes de tracción de aerogeneradores, son dominantes las vibraciones de máquina de frecuencia de rotación del eje del engranaje rápido, del acoplamiento de salida y del generador. Sin embargo, también hay trenes de tracción en los que la frecuencia de engranaje de dientes del engranaje planetario se sitúa en el mismo orden de magnitud que la frecuencia de rotación del eje rápido, lo que conduce a más vibraciones y también a más daños. Por
15 eso son útiles los gráficos SOM en torno al primer orden (orden de 0,8 a 1,2). En principio, los trenes de tracción realmente comparables deben ser identificados por medio de la codificación de la máquina. Solo así se pueden identificar buenos trenes de tracción y también comparar las líneas de contorno características y los patrones en los gráficos SOM. El reconocimiento de patrones también permite identificar a los fabricantes de engranajes y generadores. Sin embargo, los gráficos también muestran que el ruido transmitido por la estructura se conduce a otros componentes del tren de tracción y que en algunos tipos de aerogeneradores los engranajes tienen un efecto de
20 vibración dominante.

De manera similar, el especialista en vibraciones puede analizar y evaluar los engranajes u otros componentes de la máquina "de un vistazo".

Evaluación de las vibraciones inducidas eléctricamente

- Con la ayuda de las aceleraciones evaluadas, es posible controlar de manera análoga, si el respectivo aerogenerador funciona en el rango permitido por la norma y, por ejemplo, analizar utilizando los valores característicos de diagnóstico ponderados por frecuencia y/o rango cómo el inversor y/o el generador se comporta eléctricamente en términos de
30 vibración. Nuevamente es el especialista en vibraciones quien define sobre la base de procedimientos FMEA los valores característicos necesarios, activa los correspondientes SOM y concluye después qué y cuándo es dominante. Las figuras 10 u 11 muestran gráficos filtrados del orden (izquierda; orden 280-320) y de la frecuencia (derecha; 5,5 - 7,5 kHz) para dos combinaciones diferentes de inversor/generador. Una predominancia en el orden significa que el generador domina. Excitaciones dominantes en la frecuencia son un indicador de que el inversor domina. En la imagen
35 derecha de la figura 11 se puede deducir que incluso que solo un estrecho rango de carga conduce a más vibraciones adicionales inducidas por el inversor.

Evaluación de las excitaciones de los cojinetes

- 40 El especialista en diagnóstico crea un prerrequisito suprimiendo los excitadores inducidos eléctricamente en las aceleraciones para supervisar el contenido de energía de las vibraciones de alta frecuencia específicamente en cuanto a cambios dependientes de la carga y el funcionamiento. Esto sirve, entre otras cosas, para detectar una lubricación insuficiente, cavitación y daños avanzados en los cojinetes. El modo de proceder de acuerdo con la invención también permite, dado el caso, adicionalmente, por ejemplo, reconocer funciones incorrectas de cojinetes sueltos, sobrelubricación, etc. En el caso de tales fenómenos de fallo, debe tenerse en cuenta que el procedimiento SOM de
45 dos etapas de acuerdo con la invención, puede evitar que los estados de fallo sean entrenados incorrectamente como buenos estados en el nivel 1 de supervisión SOM.

Evaluación de las vibraciones estructurales y de instalación de baja frecuencia

- 50 Si se compara el aspecto relacionado con la estructura de los gráficos SOM de los aerogeneradores comparables en diferentes puntos de medición entre sí, se pueden leer gráficos SOM similares en trenes de tracción que funcionan de manera adecuada. Solo cuando se producen desviaciones y fallos de funcionamiento de la instalación, cambian localmente o en su conjunto los gráficos y características en los gráficos individuales. Por eso los valores
55 característicos SOM de nivel 1 significativos o grupos de valores característicos se deducen mejor cuando existen gráficos característicos.

Evaluación de las vibraciones de la torre de baja frecuencia (diseño de la torre)

- 60 Las torres de celosía son significativamente más blandas que las torres tubulares, lo que, como consecuencia de las turbulencias, puede manifestarse en más vibraciones de baja frecuencia tanto axial como horizontalmente a altas velocidades del viento y ciertas desviaciones en el desequilibrio de la masa y los ángulos de las palas. Para ello, sin embargo, se requiere utilizar menos gráficos promediados para también tomar en consideración las influencias de las turbulencias. Se obtienen características que se pueden reconocer "de un vistazo" por el lado de torre y también por
65 el lado de la pala de rotor en los gráficos SOM de las vibraciones de baja frecuencia. Si se excitan frecuencias propias adicionales, se producen nuevos incrementos de amplitud que también pueden tener efecto localmente. En este rango

de baja frecuencia, puede ser excitante la frecuencia de rotación del rotor y/o la frecuencia de paso de paso de la pala. Un rasgo característico de una torre de celosía, por ejemplo, es que "amortigua" mejor las vibraciones a carga parcial mediante una mayor flexibilidad.

5 Otros factores que influyen en las vibraciones de baja frecuencia son la rigidez de la torre, la altura de la torre y la masa de la góndola. También son concebibles influencias de los cimientos, de los vientos ascendentes y del impacto de las olas en las instalaciones marítimas. Las torres tubulares altas o las torres tubulares de paredes finas son más blandas y se asemejan a las torres de celosía en su estructura. Las torres de hormigón son mucho más rígidas y también pueden ser supervisadas continuamente sobre la base de gráficos. Para la supervisión de las vibraciones de la torre, es útil, por ejemplo, la representación del orden de 0,01 a 0,06 en la dirección de medición horizontal radial y en la dirección de medición axial.

Reconocimiento de los tipos de palas del rotor o del fabricante de las palas del rotor

15 Utilizando gráficos SOM adecuadamente filtrados y/o promediados, se pueden reconocer y clasificar los tipos de palas del rotor. Esta evaluación del SOM también proporciona información valiosa sobre el desarrollo y el comportamiento de las palas del rotor con diferentes vientos y también permite extraer conclusiones sobre los efectos de las turbulencias. También hay que tener en cuenta que las palas del rotor de las torres de celosía se comportan de manera diferente a las de las torres tubulares.

20 Si el aspecto de tales gráficos SOM cambia a lo largo de las semanas, meses o años, se pueden concluir daños de las palas del rotor. Si el procedimiento se lleva a cabo directamente con datos de las palas del rotor (independientemente de su tamaño), se puede controlar cómo se comporta individualmente la pala. También es concebible que los gráficos se activen en las palas de los rotores individuales. Para ello, solo debe instalarse un transmisor de fase adicional para encontrar la pala del rotor nº 1.

Detección y diferenciación de los desequilibrios de las palas del rotor

30 Hay que hacer una distinción fundamental entre el desequilibrio aerodinámico y el de masa. Mientras que el desequilibrio aerodinámico actúa generalmente en dirección axial, los desequilibrios de masa pueden detectarse mejor en dirección radial. Comparando "de un vistazo" los gráficos SOM medidos en diferentes direcciones, se hace más asequible diferenciar entre desequilibrio aerodinámico y de masa y controlar cómo es la influencia de las turbulencias/regulación. Esto también permite una protección de los rotores. A partir de la comparación se pueden identificar sensibilidades transitorias. Un ejemplo de este tipo ya se ha tratado anteriormente en relación con la figura 4.

Evaluación de los estados de vibración y montaje de los generadores

40 Por ejemplo, los valores característicos de la suma de las vibraciones para el lado A y B pueden visualizarse de acuerdo con la norma VDI 3834 y los valores característicos de las vibraciones en torno a la frecuencia de rotación del generador.

Evaluación de los estados de vibración y de marcha de transmisiones

45 Si se quiere evaluar el comportamiento de vibración y de marcha de las transmisiones, se utilizan en una primera etapa los correspondientes valores característicos de vibración sumados, y luego, como en el caso de la supervisión de estado convencional, se pasa por medio de las frecuencias u órdenes característicos y/o dominantes a los espectros de amplitud del respectivo engranaje. Esto también facilita el diagnóstico "de un vistazo" de la transmisión en toda la gama de aplicaciones, y el especialista puede identificar limitaciones, daños, etc.

Reconocimiento de diferencias de alineación entre transmisión y generador

55 Una alineación de dos componentes de máquinas acoplados entre sí se considera óptima si con la carga máxima hay un comportamiento de marcha de baja vibración y el acoplamiento compensa las desviaciones sin fuerza. En la industria eólica es habitual, debido a los componentes del tren de tracción montados normalmente con doble elasticidad, que con carga parcial actúen vibraciones más altas debido a las desviaciones de alineación asociadas a ello. Para fines de análisis, por ejemplo, se pueden generar para el generador gráficos de vibración de frecuencia rotacional y de doble frecuencia rotacional.

Detección de vibraciones adicionales en el tren de tracción

Los análisis de gráficos SOM se pueden utilizar para identificar causas de vibraciones elevadas.

Detección de vibraciones de resonancia

65 Por ejemplo, una excitación por resonancia inadmisibles puede causar un aumento de las vibraciones cada vez que la

instalación se acelera. Esto también se puede leer en la trayectoria asociada. Tales análisis necesitan una técnica de medición que mida rápida y simultáneamente.

Influencia de las vibraciones de las palas del rotor de baja frecuencia y los desequilibrios del rotor en el generador instalado elásticamente y la transmisión instalada elásticamente

Con este fin, por ejemplo, se pueden generar gráficos SOM de las vibraciones de baja frecuencia medidas durante largos períodos de tiempo, primero en la dirección de medición radial en el cojinete principal, luego en el cojinete de generador A y después en el cojinete de generador B. Si la evaluación de las vibraciones de frecuencia rotacional se lleva a cabo de manera similar, el comportamiento de vibración normal del generador puede ser evaluado y comparado. Los desequilibrios en particular surgen como variables de perturbación con las vibraciones de frecuencia rotacional. Las excitaciones por resonancia también son particularmente fáciles de identificar de un vistazo. Si se comparan los gráficos SOM de la frecuencia de rotación con los gráficos SOM de la calidad de la vibración, en caso de desviaciones, se puede concluir la necesidad de un análisis más profundo. En caso de que se produzcan tales desviaciones, el CMS podría, por ejemplo, también realizar automáticamente mediciones adicionales de alta resolución y almacenarlas por separado en una memoria de masa interna que se lea temporalmente o se reemplace.

Análisis SOM de un fallo del generador

En las figuras 7-11 se muestra un ejemplo de una pérdida total repentina de un generador. Anteriormente, el generador había funcionado con altas vibraciones durante unos 6 meses. Mediante los gráficos SOM de las velocidades de vibración de orden selectivo, se puede reconocer el desarrollo del fallo. A este respecto, en este ejemplo se observa que solo los valores característicos de baja frecuencia y el valor característico acumulado del lado A se vieron fuertemente influenciados, presumiblemente como resultado de los fenómenos de relajación, pero menos los componentes de la frecuencia de rotación y la doble frecuencia de rotación. También muestra un "golpe" adicional con daños.

Con la invención, se pueden evaluar y estimar estados de alineación, estados de equilibrio, estados de máquina, estados de engranajes y rodamientos de un vistazo utilizando los gráficos SOM durante la supervisión de los estados y el diagnóstico.

Por ejemplo, se pueden extraer conclusiones sobre los parámetros de desgaste y la compatibilidad de los componentes sobre la base de los gráficos SOM.

Las influencias de la estructura, la instalación y las turbulencias pueden distinguirse mediante el tratamiento previo de los diferentes valores medidos y la subsiguiente evaluación SOM.

Sobre la base de la matriz U, se pueden tomar decisiones acerca de la utilidad de análisis más profundos o del tratamiento adicional posterior de los datos de medición.

Los eventos de fallos individuales pueden ser captados mediante una consulta de control. Para ello se limitan los aciertos (número de eventos) y las amplitudes (por ejemplo, en relación con VDI 3834) o los valores de alarma y desconexión establecidos para evitar las distorsiones del modelo.

Los límites de fase de la matriz U pueden asociarse a estados típicos y los vectores de peso pueden ajustarse sobre la base de los parámetros nominales.

Según un ejemplo, se mide por completo o en el evento solo si ha habido cambios en el fallo de cuantificación u otras características del SOM.

De acuerdo con un ejemplo, se definen factores de ponderación con respecto a sus dependencias o se tiene en cuenta la cadena de efectos subyacente.

Dependiendo del tipo de máquina e instalación, los eventos repentinos o abruptos pueden ser suprimidos por medio de filtrado, tayloring u otros algoritmos adecuados.

Los valores característicos de número de revoluciones de entrada y salida pueden ser comparados en términos de plausibilidad sobre una base de SOM, y se pueden utilizar las divergencias como criterio de diagnóstico.

Rasgos característicos se pueden supervisar en diferentes puntos de medición y compararse en busca de cambios. Esto también reduce la tolerancia a fallos o la dependencia de los errores de los sensores individuales.

Los gráficos SOM pueden ser comparados entre sí en relación con el rendimiento y la máquina para extraer conclusiones sobre las calidades de las máquinas, comparar máquinas idénticas entre sí o configurarlas en el CMS.

Los SOM pueden configurarse en función de la señal deseada. Los estados iniciales o transitorios se tratan según un

algoritmo secuencial y los estados estacionarios según el algoritmo de lotes.

Los modelos pre-entrenados pueden funcionar en el sistema incorporado para que la cantidad de datos pueda reducirse notablemente.

5 El especialista puede configurar qué fenómeno quiere evaluar con qué parámetro mediante el análisis de datos SOM posteriormente o en línea Al mismo tiempo, define otros análisis en función de las señales.

10 En los gráficos SOM se pueden formar cuerpos envolventes y/o superficies envolventes que describan estados de advertencia y alarma, y activarse automáticamente análisis adicionales tras su aparición.

15 Se pueden evaluar los gráficos SOM de amplitud y las frecuencias asociadas a fin de poder estimar el grado de daño esperado y la reducción de la vida útil. Sin embargo, esto también permite estimar el tiempo de vida restante y derivar las provisiones de uso residual.

Los efectos y consecuencias de turbulencias pueden determinarse comparando gráficos parametrizados de diferente manera.

20 Los valores característicos selectivos de vibración diagnóstico pueden utilizarse en los gráficos SOM para el análisis sistemático de la máquina y supervisarse automáticamente sobre la base de los códigos de diagnóstico/vibración.

25 Variables de estado, variables de control, variables de regulación y variables de funcionamiento se pueden utilizar sobre la base de SOM para hacer funcionar la instalación en el rango de trabajo óptimo, y, en caso de divergencias del estado ideal, se pueden adaptar los modos de marcha.

Los rangos de trabajo inadmisibles pueden ser evitados y/o ocultados de los gráficos SOM.

30 Los perfiles de viento y carga pueden determinarse sobre la base de SOM, y se pueden utilizar para la configuración de instalaciones/parques similares.

Ejemplos para otras máquinas

35 La presente invención puede utilizarse para intervenir activamente en el estado del proceso y el estado de funcionamiento sobre la base de información de estado determinada multisensorialmente para que el respectivo componente de la máquina pueda ser utilizado en su rango de trabajo óptimo. En particular, se pueden identificar los puntos de trabajo y modos de funcionamiento óptimos con los niveles de vibración más bajos posibles y utilizarlos en la instalación en cuestión.

A continuación se explica esto con ayuda de varios ejemplos:

Dragalinas

45 Las dragalinas (también denominadas excavadoras de cuerda) son excavadoras utilizadas, por ejemplo, en la minería a cielo abierto con palas de volúmenes del orden de 10m³ en el que se puede llevar a cabo una supervisión de las vibraciones de manera ventajosa por medio del procedimiento de acuerdo con la invención. En este sentido, por ejemplo, por medio del seguimiento de trayectorias en SOM se puede realizar un seguimiento de resonancias. Por ejemplo, el brazo de la excavadora con la pala llena mostrará otras resonancias que cuando se conduce con la pala vacía. Sin embargo, el comportamiento de las vibraciones no solo depende a este respecto de la cantidad, sino también del tipo de contenido de la pala. La roca mineral, por ejemplo, tiene una densidad diferente a la de la arcilla). El comportamiento de la vibración también está influenciado por la dirección de la marcha, por ejemplo. Así, cuando se conduce hacia el vehículo pesado con una pala llena, el brazo de la excavadora tiene una frecuencia de resonancia diferente que cuando se conduce de vuelta con una pala vacía; dado que en la supervisión de excavadora, la dirección de giro pertenece a los parámetros estándar, el viaje al vehículo pesado y el viaje de regreso siguen diferentes trayectorias y, por lo tanto, hacen visibles diferentes resonancias del brazo de la excavadora en el SOM.

55 Correspondientemente, es conveniente si, al clasificar las excavadoras por medio de un número característico de instalación, por ejemplo, se incluye en el número característico de instalación la cantidad de contenido de la pala (o el volumen de la pala), el tipo de contenido de la pala o el material que se va a excavar y la dirección del recorrido lleno o vacío.

Propulsiones navales

65 Los operadores de barcos quieren que los barcos sean accionados eficientemente con la menor cantidad de combustible posible y con poca vibración y mantenimiento. Las propulsiones navales se optimizan, se montan equipos de control, para lograr mejoras en la eficiencia y evitar cavitación dañina. Además, el motor de combustión debe funcionar en su punto óptimo de funcionamiento para alcanzar la mayor eficiencia. Esto podría lograrse con una

medición permanente del par de torsión. Sin embargo, los sensores de par de torsión son complejos, caros y, por ello, raramente se integran en motores de combustión.

5 Los sensores de torsión únicamente se utilizan para las mediciones de aceptación en la industria marina para la comprobación del rendimiento y la verificación de la vibración torsional. Alternativamente se intenta, por ejemplo, recabar tales datos por medio de monitores de acoplamiento.

10 Los sensores de par de torsión solo se están integrando cada vez más en grandes naves con doble accionamiento. En este caso, solo se utilizan durante el funcionamiento del barco para lograr una marcha regular entre el lado de babor y el de estribor.

15 Sin embargo, la estructura de cada nave, el modo de conducción, la carga, la altura de las olas, la dirección del viento, las corrientes tienen características especiales que también afectan a las vibraciones. Gracias a la vigilancia proactiva de las condiciones basada en SOM, la propulsión naval puede funcionar en su punto óptimo de funcionamiento y se puede detectar cuando el modo de conducción aprendido también se anuncia en el estado de la máquina.

Accionadores de propulsores

20 Especialmente en las plataformas de perforación, varios propulsores tienen que asegurar que las posiciones se mantengan incluso en un alto oleaje e independientemente de las direcciones del viento. Dado que los impulsores utilizados están sujetos a cargas altamente dinámicas y también son susceptibles de sufrir daños, la supervisión de estado basada en la vibración está cada vez más extendida. La supervisión de estados con SOM en este caso, por ejemplo, puede indicar a tiempo empeoramientos en el comportamiento de la marcha de la máquina, de tal modo que se pueden evitar averías. La supervisión de estado con SOM también puede ayudar en este caso a averiguar si el comportamiento de los cuatro u ocho propulsores es realmente eficiente entre sí. Mediante modos de funcionamiento en el punto de operación óptimo, se pueden ahorrar costos de energía y reducir las vibraciones y cargas adicionales.

Instalaciones de molienda

30 Los molinos verticales en particular se utilizan para moler diferentes calidades de productos. A este respecto, los parámetros de molino se modifican de tal manera que se logre la finura deseada con el máximo rendimiento. Si en el proceso de molienda se producen vibraciones demasiado elevadas, se realiza una desconexión y/o se señala, basándose en las mediciones del par de torsión, que hay que cambiar el comportamiento de marcha hasta que se alcance de nuevo un comportamiento de marcha estable. Si el molino vertical puede modificar el número de revoluciones, las influencias perturbadoras aumentan aún más. La supervisión de estado proactiva sobre la base de SOM permite identificar mejor los estados de proceso típicos y, en caso de desviaciones, reajustarlos antes. Esto reduce el riesgo de cargas inadmisibles del accionamiento, lo que a su vez alarga la vida útil. Al mismo tiempo, para el fabricante de la instalación se ofrece la posibilidad de vender más rendimiento de la instalación o utilizar bonificaciones basadas en el rendimiento de la instalación.

Motores

45 Si se utilizan motores en el área límite de rendimiento, se intensifica el desgaste normal. Estas zonas límite de desgaste pueden presentarse si aún no se ha alcanzado la temperatura óptima de funcionamiento, o se conduce demasiado alto o demasiado bajo. Los contadores de distribución del tamaño de partículas en línea proporcionan información sobre la abrasión actual o el desgaste "flotante en el aceite".

50 Si se acoplan distribuciones del tamaño de partículas con supervisión de estado sobre la base de SOM, pueden identificarse zonas de desgaste no deseado y contrarrestarse ya durante el funcionamiento.

Turbinas industriales

55 En las turbinas, las vibraciones del eje se vigilan para detectar superaciones de los valores límite durante el funcionamiento continuo. Si se producen desviaciones, se utilizan análisis orbitales para realizar correspondientes análisis de profundidad. Los procesos de arranque y parada solo son evaluados por especialistas en casos especiales, por lo que se pierde una valiosa información de estado. Con la supervisión de estado proactiva basada en SOM, también se pueden "aprender" los procesos de puesta en marcha y, una vez aprendidos, se pueden comparar los estados de funcionamiento transitorios sobre la base de un modelo o identificar las diferencias más fácilmente.

Bombas

60 Las bombas de velocidad variable corren el riesgo de llegar a estados de cavitación o funcionar de manera ineficiente. Las vibraciones de banda ancha resultantes de la cavitación son un criterio para la asignación de causas en el diagnóstico clásico de las vibraciones, pero no son claramente asignables. Cada bomba tiene sus propios patrones de vibración especiales dependiendo del medio y de la realización. Es una tarea del especialista en diagnóstico interpretar las desviaciones detectadas e interpretarlas con experiencias/resultados de instalaciones equiparables.

Esto es trabajoso, complejo y exige un amplio conocimiento. Otro factor que complica aún más las cosas es que las resonancias estructurales específicas de la aplicación y/o los daños en los cojinetes en la misma gama de frecuencias también pueden provocar vibraciones de interferencia adicionales. Sin embargo, la cavitación también significa cambios en las variables del proceso como, por ejemplo, más fluctuaciones de carga y pulsaciones de presión.

5 Si se ha "aprendido" el comportamiento específico de la bomba en la aplicación, pueden asignarse y supervisarse áreas de trabajo habituales. Si aparece cavitación, o si la bomba llega cerca de su límite de fase, se puede reaccionar pronto con la supervisión de acuerdo con la invención por medio de SOM.

10 Ventiladores

Las grandes instalaciones de ventiladores, en particular, se gestionan en función del proceso y el comportamiento de marcha y funcionamiento difiere, por ejemplo, entre el funcionamiento diurno y el nocturno. Como los ventiladores de velocidad variable se prefieren ya solo por razones energéticas, existe, por supuesto, el peligro de la resonancia que
15 lleva a una desconexión involuntario de la instalación. En el artículo introductorio del Telediagnose, cuaderno 11, "Wenn der Ofenventilator abschaltet" de Dr. E. Becker (s. www.telediagnose.com) se informa sobre cómo un rango de velocidad con resonancias fue identificado por medio de un laborioso trabajo de análisis y posteriormente se ocultó en el sistema de control. Con un CMS proactivo basado en SOM, pueden ser identificados estados inusuales como, por
20 ejemplo, vibraciones axiales perturbadoras de manera temprana.

20 Plantas hidroeléctricas

Las plantas hidroeléctricas tienen diferentes estados de funcionamiento que pueden funcionar con supervisión de estado baso en reglas y control basado en reglas. Sin embargo, una interpretación de las correspondientes vibraciones
25 del eje típicamente requiere del especialista, que luego compara los cambios mostrados en un "trabajo minucioso" con los estados de proceso. Con la supervisión de estado proactiva basada en SOM, los estados típicos de funcionamiento y vibración pueden ser aprendidos y luego supervisados en busca de cambios dependiendo de la clase de funcionamiento.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la supervisión de una máquina rotativa que está provista de una pluralidad de sensores para la detección de parámetros físicos y funciona en varios estados de funcionamiento variables, siendo la máquina un aerogenerador y: obteniéndose datos de sensor de arranque en al menos un estado de funcionamiento básico (A, B, C) de la máquina;
- 10 estableciéndose sobre la base de los datos de sensor de arranque un modelo de arranque basado en el conocimiento para la máquina con un conjunto de reglas para la ejecución de la supervisión que determina qué parámetros deben supervisarse de qué manera y con qué ponderación y qué datos de sensor deben obtenerse y utilizarse para ello;
- 15 creándose un SOM de referencia con los datos de sensor seleccionados por medio del conjunto de reglas, que se obtienen en una fase de funcionamiento de referencia de la máquina, utilizando el conjunto de reglas, designando SOM (por sus siglas en inglés de Self-Organizing-Map) un mapa autoorganizado;
- siguiéndose durante una fase de funcionamiento de supervisión el curso temporal del fallo de cuantificación de los datos de sensor seleccionados por medio del conjunto de reglas con respecto al SOM de referencia;
- 20 iniciándose una búsqueda de fallos, si el fallo de cuantificación cumple un criterio predefinido por el conjunto de reglas,
- creándose con ayuda del conjunto de reglas al menos un primer SOM de diagnóstico con un subconjunto de los datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión con respecto a momentos de medición y/o el número de sensores y opcionalmente con datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de referencia, creándose al menos un gráfico 3D del primero o primeros SOM de diagnóstico y evaluándose con ayuda del conjunto de reglas para identificar una causa del fallo;
- 25 en el caso de que no sea posible la identificación de una causa de fallo a partir de la evaluación del primer o primeros SOM de diagnóstico, creándose y evaluándose al menos un segundo SOM de diagnóstico con otro subconjunto de los datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión con respecto a momentos de medición y/o el número de sensores y opcionalmente con datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de referencia para identificar una causa del fallo;
- 30 comprobándose y modificándose el modelo de arranque -y, por tanto, el conjunto de reglas- sobre la base de evaluaciones de los SOM de referencia y/o de los SOM de diagnóstico si se obtienen, por un lado, datos de sensor adicionales y, por otro lado, conocimientos adicionales sobre el comportamiento de funcionamiento de la máquina.
- 35 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que, para la evaluación del o de los SOM de diagnóstico, se establece un SOM de buen estado correspondientemente al respectivo SOM de diagnóstico con datos de sensor obtenidos durante la fase de funcionamiento de referencia de la máquina y se crea un gráfico 3D del SOM de buen estado para comparar con el gráfico 3D del o de los SOM de diagnóstico sobre la base del conjunto de reglas.
- 40 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que la comparación del o de los SOM de diagnóstico se realiza con el SOM de buen estado utilizando un algoritmo de procesamiento de imágenes.
- 45 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, caracterizado por que para la evaluación de los SOM de diagnóstico se efectúa una representación 3D de la diferencia del SOM de diagnóstico y de un correspondiente SOM de buen estado.
- 50 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que para la evaluación del o de los SOM de diagnóstico se crea para el respectivo SOM de diagnóstico un gráfico 3D propio para al menos dos parámetros contenidos en el respectivo SOM de diagnóstico, seleccionándose estos parámetros sobre la base del conjunto de reglas.
- 55 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que en la selección del o de los SOM de diagnóstico se tiene en cuenta su fallo de cuantificación.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que se seleccionan como SOM de diagnóstico SOM cuyo fallo de cuantificación se sitúe por encima de un determinado valor umbral.
- 60 8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que al menos una parte de los datos de sensor se divide en al menos dos bandas de frecuencia sobre la base del conjunto de reglas.
- 65 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que los SOM de diagnóstico se diferencian en cuanto a las bandas de frecuencias seleccionados sobre la base del conjunto de reglas de los datos de al menos uno de los sensores.
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que en al menos un SOM de diagnóstico se siguen o se analizan trayectorias para al menos un parámetro del SOM de diagnóstico.

11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que al menos una parte de los datos de sensor se promedian en una cuadrícula temporal y con los valores promediados en el tiempo se crea un SOM de diagnóstico.
- 5 12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que al menos una parte de los datos de sensor se promedian en varias cuadrículas temporales diferentes y se crea para cada cuadrícula un SOM de diagnóstico independiente.
- 10 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 y 12, caracterizado por que al menos el o los SOM de diagnóstico creado o creados sobre la base de los datos de sensor promediados temporalmente se compara o comparan con un SOM de diagnóstico creado sobre la base de los correspondientes datos de sensor no promediados.
- 15 14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el establecimiento basado en el conocimiento del modelo de arranque se efectúa utilizando un procedimiento FMEA, utilizando gráficos de Markov, utilizando redes de Petri y/o utilizando un análisis de tipo de falla por medio de un procedimiento de análisis de árbol de fallas (FTA).
- 20 15. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el establecimiento basado en el conocimiento del modelo de arranque se efectúa utilizando un procedimiento FMEA y para el establecimiento del modelo de arranque se utiliza al menos una de las siguientes magnitudes:
- (1) un número de prioridad de diagnóstico que es el producto de los siguientes valores indicadores: la severidad del efecto de la aparición de un fallo concreto con respecto a la capacidad de funcionamiento de la máquina; los costos de seguimiento específicos de la máquina cuando se produce el fallo; y la posibilidad de corrección del fallo;
- 25 (2) un número de prioridad de vibración que es el producto de los siguientes valores indicadores: frecuencia con la que se supera un valor límite de vibración predeterminado; la severidad del efecto de la superación del valor límite de vibración con respecto a la capacidad de funcionamiento de la máquina; y probabilidad de detección de la superación del valor límite de vibración por medio del sistema de detección de vibraciones previsto;
- 30 (3) un número de prioridad de riesgo, que es el producto de los siguientes valores indicadores: frecuencia con la que el fallo predeterminado aparece durante el funcionamiento de la máquina; la severidad del efecto de la aparición del fallo con respecto a la capacidad de funcionamiento de la máquina; y probabilidad de detección de la aparición del fallo por medio del esquema de diagnóstico utilizado y el sistema de diagnóstico.
- 35 16. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, caracterizado por que la máquina se subdivide en varios componentes y para cada uno de los componentes se determina un número de prioridad de diagnóstico, al menos un número de prioridad de vibración y/o al menos un número de prioridad de riesgo.
- 40 17. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el SOM de referencia se modifica con al menos una parte de los datos de sensor obtenidos durante la fase de funcionamiento de supervisión para adaptar el SOM de referencia a cambios del estado de la máquina.
- 45 18. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que todos los SOM se inician de manera manual/determinista de tal modo que los mismos estados de funcionamiento se disponen en todos los SOM en las mismas zonas de los SOM.
- 50 19. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la función de vecindad de los SOM se selecciona como una función de Gauss.
- 55 20. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los datos de medición de sensor, dado el caso, se interpolan para la comparabilidad con otros datos de sensor para obtener una cuadrícula temporal igual para todos los datos de medición de sensor.
- 60 21. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los valores de medición que superan un determinado valor límite, con respecto a un valor promedio de varios valores de medición, no son tenidos en cuenta en los SOM.
- 65 22. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que únicamente se transmiten datos contenidos en los SOM por medio de transmisión remota de datos a un centro de servicio situado a distancia de la máquina para conseguir una reducción de los datos transmitidos en comparación con los datos de sensor obtenidos.
23. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se envía una señal de alarma al centro de servicio cuando el fallo de cuantificación del SOM de referencia cumple un criterio preestablecido por el conjunto de reglas.
24. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los parámetros

detectados contienen la velocidad del viento, el número de revoluciones y la potencia del aerogenerador, así como valores característicos de vibración medidos en diferentes puntos del aerogenerador.

5 25. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 24, caracterizado por que para el o los SOM de diagnóstico se seleccionan determinados valores característicos de vibración de determinados componentes de la máquina sobre la base del conjunto de reglas.

10 26. Procedimiento para la supervisión de una pluralidad de máquinas rotativas que están provistas en cada caso de una pluralidad de sensores para la detección de parámetros físicos y funcionan en varios estados de funcionamiento variables, siendo las máquinas aerogeneradores y
 estando catalogadas las máquinas individuales mediante asignación de un número característico de instalación con respecto al tipo de los componentes y/o el emplazamiento de la correspondiente máquina;
 analizándose antes del comienzo de la supervisión de una máquina seleccionada si entre la pluralidad de máquinas se encuentra otra máquina con el mismo número característico de instalación que la máquina seleccionada o con un
 15 número característico de instalación que no difiere en más de un valor predefinido del número característico de instalación de la máquina seleccionada y, si este es el caso, tomándose de la otra máquina un modelo de arranque con un conjunto de reglas para la realización de la supervisión que determine qué parámetros deben supervisarse de qué manera y con qué ponderación y qué datos de sensor deben obtenerse y utilizarse para ello, habiéndose establecido sobre la base de conocimientos el modelo de arranque sobre la base de datos de sensor de arranque que
 20 se han obtenido en al menos un estado de funcionamiento básico casi estacionario de la otra máquina, y

(a) creándose un SOM de referencia con los datos de sensor seleccionados por medio del conjunto de reglas, que se obtienen en una fase de funcionamiento de referencia de la máquina seleccionada, utilizando el conjunto de reglas, designando SOM (por sus siglas en inglés de Self-Organizing-Map) un mapa autoorganizado; o
 25 (b) adoptándose un SOM de referencia de la otra máquina que se ha establecido sobre la base del conjunto de reglas con los datos de sensor seleccionados sobre la base del conjunto de reglas de la otra máquina que se han obtenido en una fase de funcionamiento de referencia de la otra máquina;

30 siguiéndose durante una fase de funcionamiento de supervisión el curso temporal del fallo de cuantificación de datos de sensor seleccionados de la máquina seleccionada por medio del conjunto de reglas con respecto al SOM de referencia;
 iniciándose una búsqueda de fallos, si el fallo de cuantificación cumple un criterio predefinido por el conjunto de reglas, en la que
 35 creándose con ayuda del conjunto de reglas al menos un primer SOM de diagnóstico con un subconjunto de los datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión con respecto a momentos de medición y/o el número de sensores y opcionalmente con datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de referencia, se crea y evalúa al menos un gráfico 3D del primer o primeros SOM de diagnóstico(s) para identificar una causa del fallo;
 en el caso de que no se llegue a una causa de fallo unívoca a partir de la evaluación del primer o primeros SOM de diagnóstico, creándose y evaluándose al menos un segundo SOM de diagnóstico con otro subconjunto de los datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión con respecto a momentos de medición y/o el número de sensores y opcionalmente con datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de referencia para identificar una causa del fallo;
 40 comprobándose y modificándose el modelo de arranque -y, por tanto, el conjunto de reglas- sobre la base de evaluaciones de los SOM de referencia y/o de los SOM de diagnóstico si se obtienen, por un lado, datos de sensor adicionales y, por otro lado, conocimientos adicionales sobre el comportamiento de funcionamiento de la máquina;
 poniéndose a disposición para otras máquinas con el mismo número característico de instalación que la máquina seleccionada o con un número característico de instalación que no difiera en más de un valor predefinido del número característico de instalación de la máquina seleccionada el modelo de arranque -en caso necesario, modificado- y/o
 50 un SOM de referencia completado con datos de sensor obtenidos en la fase de funcionamiento de supervisión como SOM de referencia.

27. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 26, caracterizado por que el número característico de instalación especifica al menos una de las siguientes magnitudes: tipo de transmisión, tipo de inversor, tipo de pala del rotor, tipo de generador, y tipo de torre.
 55

28. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 26 o 27, caracterizado por que el número característico de instalación caracteriza el emplazamiento en lo que respecta a la relación con los aerogeneradores vecinos, la topografía del entorno y la vegetación y la edificación del entorno.
 60

29. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la evaluación del primer o primeros SOM de diagnóstico y/o del o de los segundos SOM de diagnóstico se efectúa automáticamente por medio de al menos un algoritmo de procesamiento de imágenes.

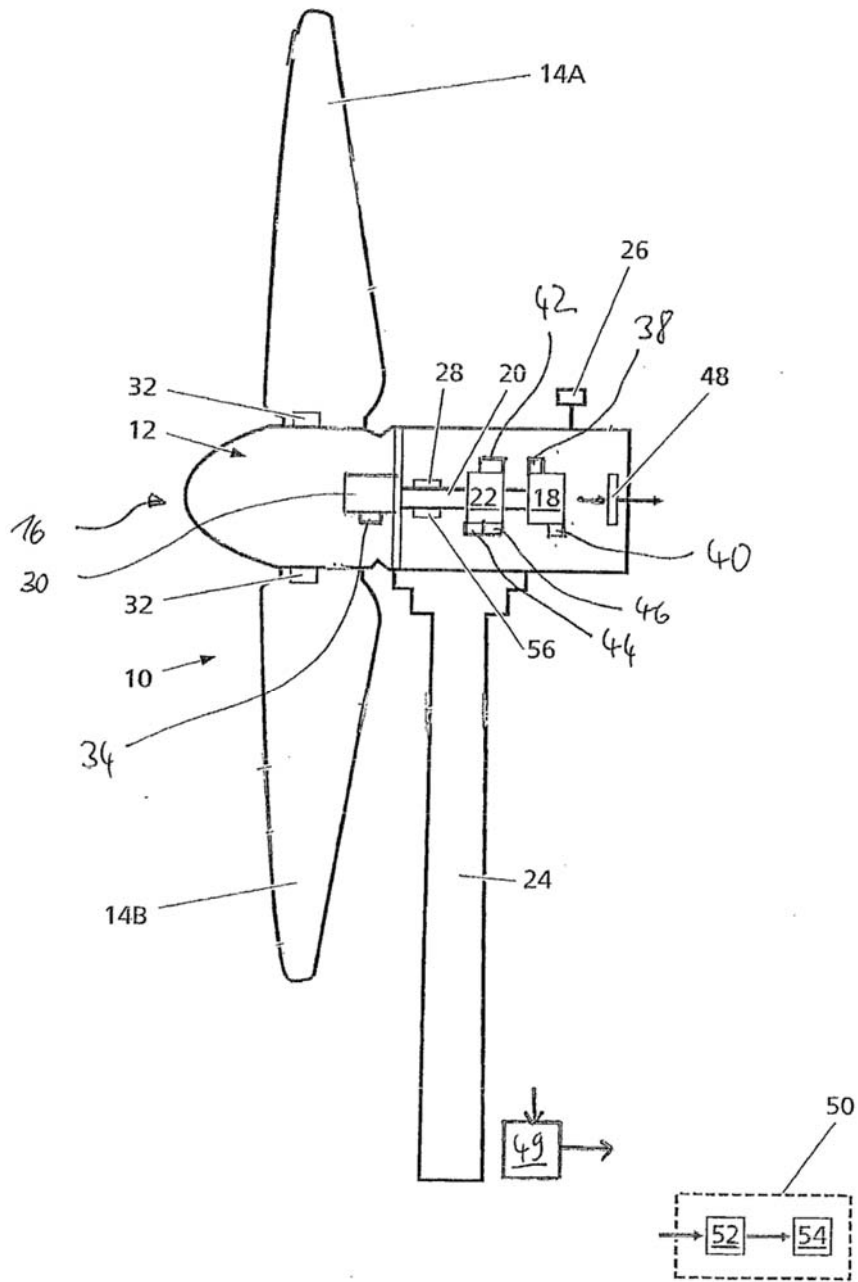


FIG. 1

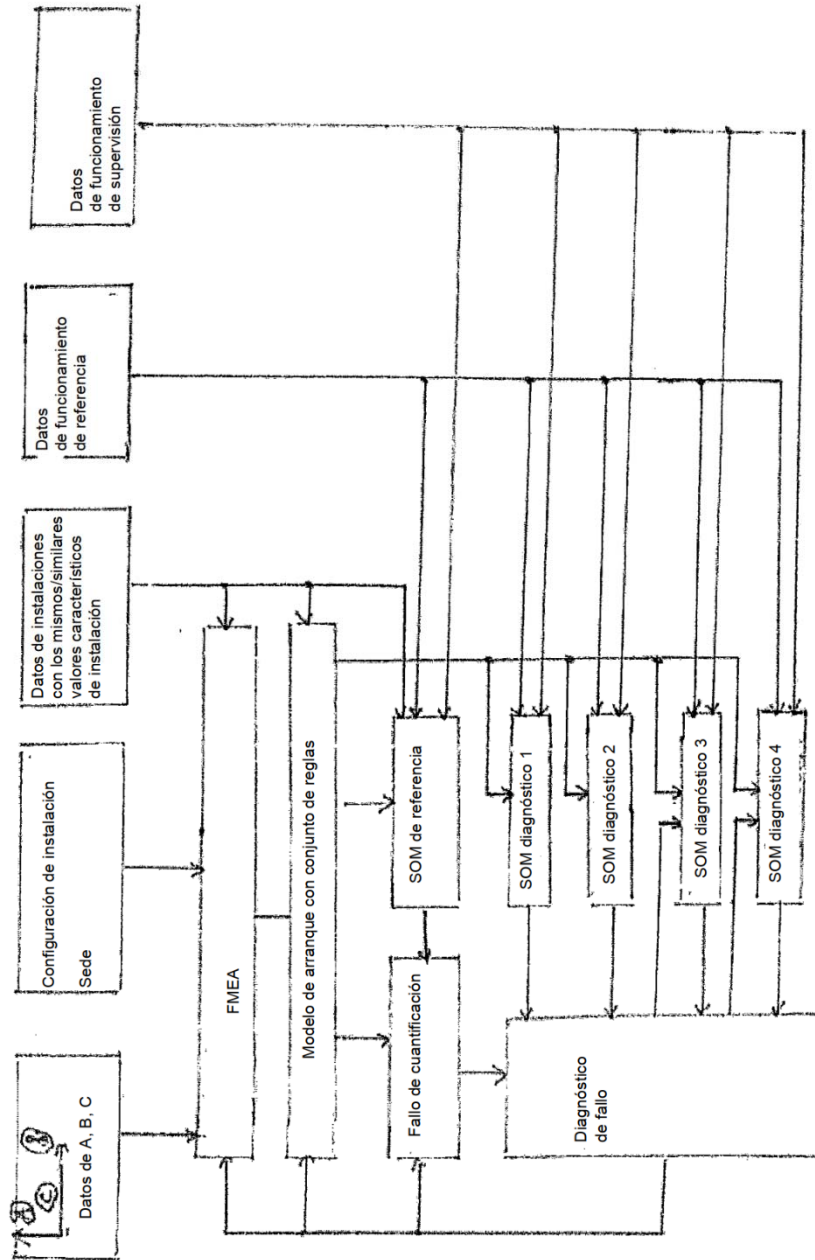


Fig.2

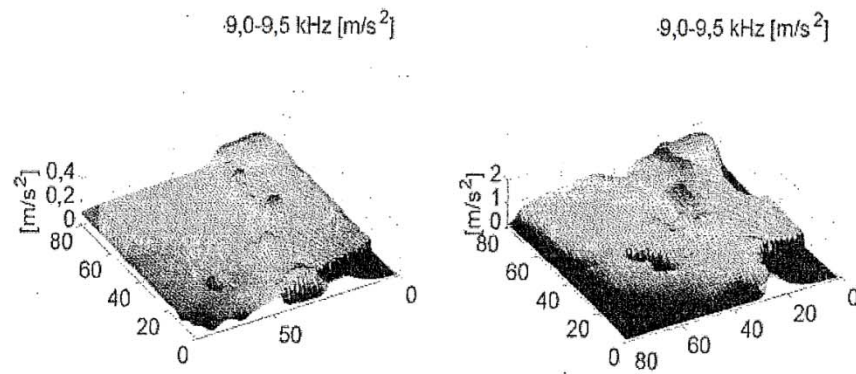


FIG. 3

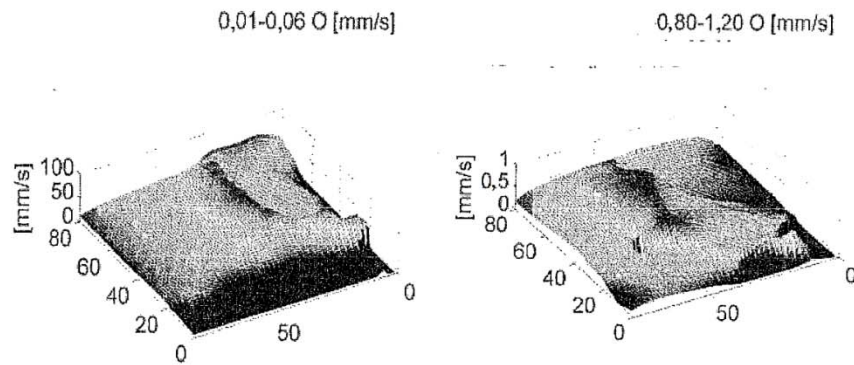


FIG. 4

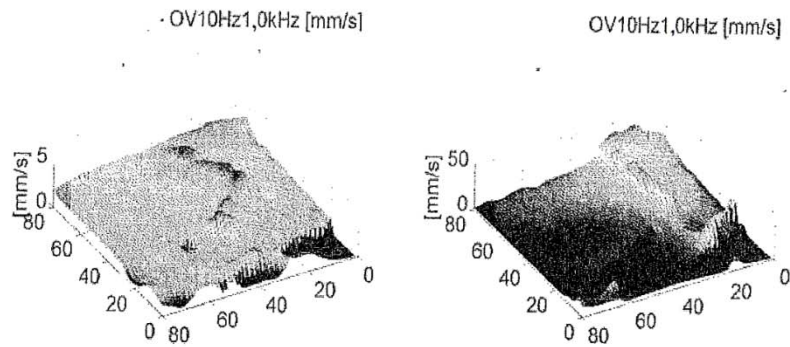


FIG. 5

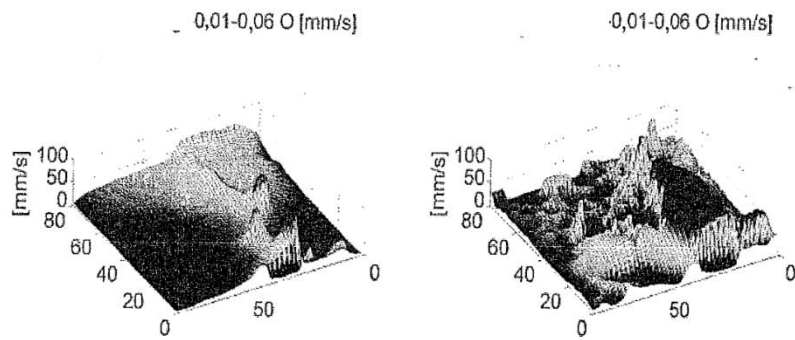


FIG. 6

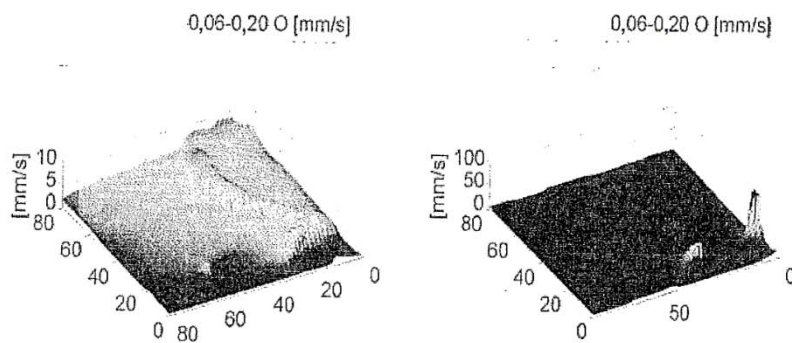


FIG. 7

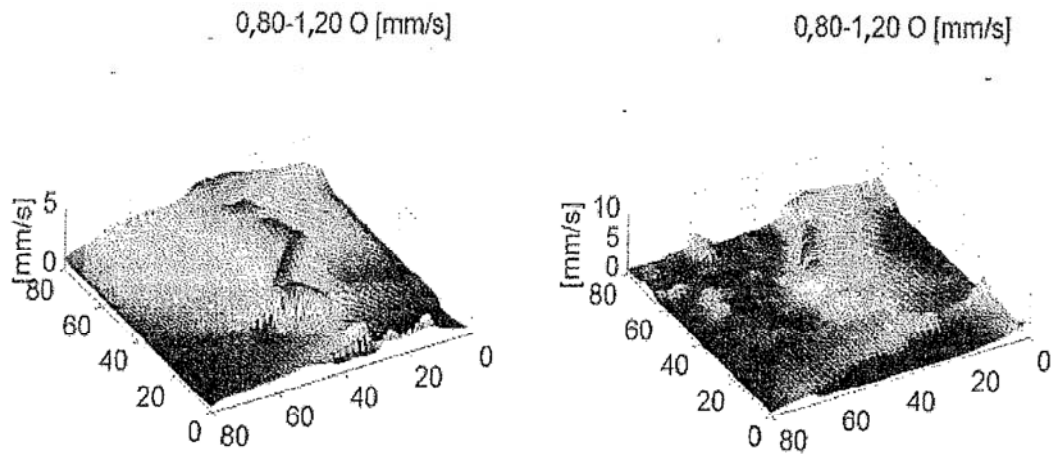


FIG. 8

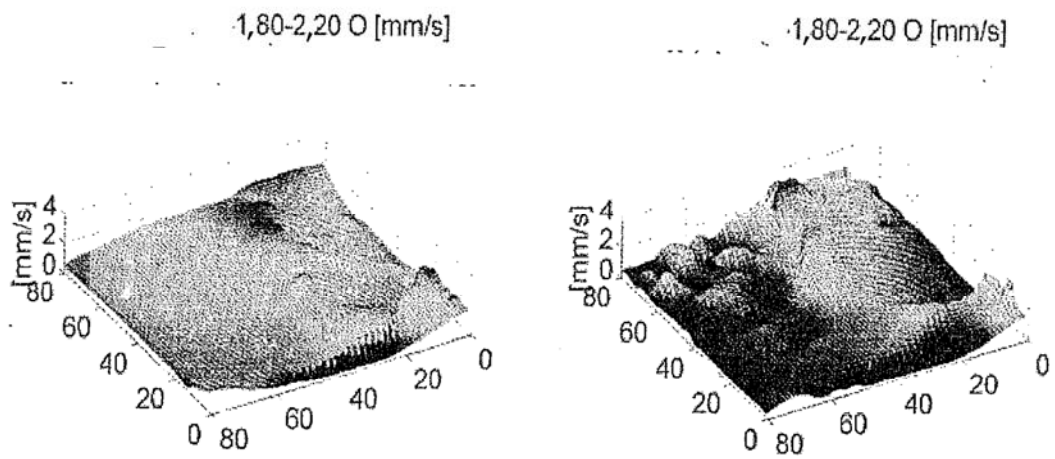


FIG. 9

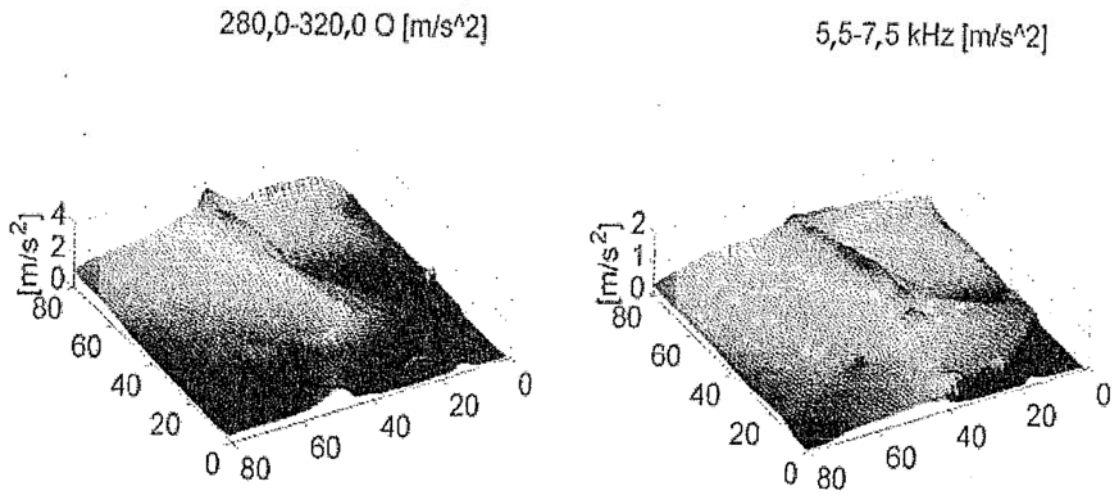


FIG. 10

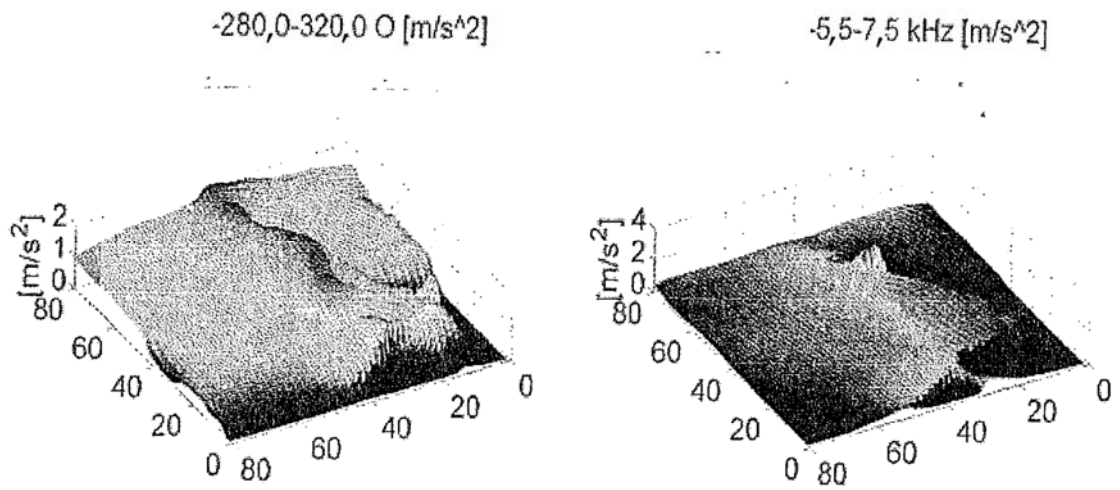


FIG. 11