

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 977 492**

51 Int. Cl.:

G05B 23/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2020** **PCT/EP2020/069547**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2021** **WO21009042**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2020** **E 20737033 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024** **EP 3969973**

54 Título: **Método, aparato, sistema y programa informático para determinar el estado de salud de un sistema giratorio**

30 Prioridad:

12.07.2019 EP 19186078

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

26.08.2024

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

NAIR, P.V. SUDEV

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 977 492 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método, aparato, sistema y programa informático para determinar el estado de salud de un sistema giratorio

- 5 La presente invención se refiere a un campo de sistemas giratorios y, más particularmente, se refiere a la gestión del estado de salud de los sistemas giratorios.

Los sistemas giratorios tales como generadores y motores se usan en diversas aplicaciones. Con el uso, un sistema giratorio puede desarrollar numerosos problemas que se manifiestan como anomalías en el estado de salud del sistema giratorio. Las anomalías relacionadas con los componentes externos del sistema giratorio pueden detectarse y resolverse fácilmente. Sin embargo, las anomalías relacionadas con los componentes internos del sistema giratorio pueden ser difíciles de detectar ya que son internas al sistema giratorio. Eventualmente, las anomalías no detectadas pueden conducir a una avería del sistema giratorio. La avería del sistema giratorio puede causar daños adicionales al equipo que está acoplado operativamente al sistema giratorio y también puede poner en peligro vidas humanas.

10 Cuando el sistema giratorio es parte de una configuración más grande, la avería del sistema giratorio puede conducir a un tiempo de inactividad de la configuración y también a pérdidas de productividad. Las técnicas actualmente conocidas no soportan la determinación de anomalías asociadas con los componentes internos del sistema giratorio antes de la avería del sistema giratorio.

20 El documento WO2015149928 divulga un método para la evaluación en línea del intervalo operativo y el rendimiento de un compresor, comprendiendo el método al menos las siguientes etapas fuera de línea: configurar un modelo digital no degradado del compresor en un estado no degradado del compresor; calibrar y validar el modelo no degradado usando datos históricos de una línea de funcionamiento del compresor; calcular al menos un mapa de rendimiento no degradado usando el modelo no degradado; y al menos las siguientes etapas en línea: calcular un modelo adaptativo de degradación actualizando el modelo no degradado con datos operativos del compresor determinados por al menos un sensor del compresor; calcular al menos un mapa de rendimiento real de un estado operativo del compresor usando el modelo adaptativo de degradación; detectar fallos de funcionamiento del compresor comparando el al menos un mapa de rendimiento no degradado derivado por el modelo no degradado y el al menos un mapa de rendimiento real derivado por el modelo adaptativo de degradación a través de al menos una función matemática. Sin embargo, la solicitud de patente no aborda el problema de determinar anomalías específicas relacionadas con componentes internos de un sistema giratorio, donde no se pueden colocar sensores.

35 El documento EP3255512A2 divulga un método basado en modelo adaptativo para cuantificar la degradación de un sistema de generación de energía. De acuerdo con el documento EP3255512 A2, las diferencias entre un valor de parámetro estimado y un valor de parámetro medido se reducen basándose en un factor de corrección. El factor de corrección se usa además para generar una función de transferencia que relaciona valores estimados y medidos de un segundo parámetro. Sin embargo, la función de transferencia falla al correlacionar entre el valor de parámetro estimado y una anomalía específica asociada con componentes internos del sistema de generación de energía.

40 El documento EP2975525A1 divulga un dispositivo de análisis de sistema y un método de análisis de sistema, para generar un diagrama de correlación. Sin embargo, no divulga cómo puede aplicarse un diagrama de correlación de este tipo para determinar anomalías específicas asociadas con componentes internos de un sistema giratorio.

45 El documento US20130024416A1 divulga un método para determinar la condición operativa futura de un objeto. El método incluye obtener datos de referencia que indican el estado operativo normal del objeto y obtener matrices de patrones de entrada. Cada matriz de patrón de entrada tiene una pluralidad de vectores de entrada, mientras que cada vector de entrada representa un punto de tiempo y tiene valores de entrada que representan una pluralidad de parámetros que indican la condición actual del objeto. Sin embargo, la solicitud de patente no aborda el problema de determinar anomalías con respecto a componentes internos de un sistema giratorio basándose en tales datos de referencia y matriz de entrada.

50 El documento US20190287005A1 divulga un método que comprende recibir datos operativos asociados con una condición operativa de una bomba, y determinar datos de pronóstico usando los datos operativos recibidos usando un primer modelo predictivo. Los datos de pronóstico que incluyen una pluralidad de métricas asociadas con la bomba y previstas en relación con los datos operativos. La condición de operación se refiere a un fallo de motor, un fallo de bomba, un fallo de del cable o de la extensión del motor, un fallo de junta, un fallo de eje y/o de acoplamiento y similares. Sin embargo, la solicitud de patente no analiza cómo se determinan las anomalías asociadas con los componentes internos de un sistema giratorio.

60 A la luz de lo anterior, existe la necesidad de un método y un sistema para gestionar un estado de salud del sistema giratorio. Más específicamente, existe la necesidad de determinar anomalías debidas al estado de salud de componentes internos específicos del sistema giratorio en tiempo real.

65 Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un método implementado por ordenador, un aparato, un sistema y un producto de programa informático para gestionar el estado de salud de un sistema giratorio basándose en la determinación precisa de anomalías en el sistema giratorio. Este objeto se resuelve mediante un método de

acuerdo con la reivindicación 1, un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, un sistema de acuerdo con la reivindicación 8 y un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 9. Otras realizaciones ventajosas y mejoras de la invención actual se enumeran en las reivindicaciones dependientes. En lo sucesivo en el presente documento, antes de llegar a una descripción detallada de las realizaciones de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, se describen algunos aspectos de la invención que contribuyen a la comprensión de la invención. Sin embargo, debe observarse que la invención se define por las reivindicaciones adjuntas y cualquier ejemplo y realización que no esté cubierto por estas reivindicaciones también debe entenderse que contribuye a la comprensión de la invención.

La expresión 'sistema rotatorio' como se usa en el presente documento, puede referirse a cualquier máquina eléctrica, que opera según el principio de inducción electromagnética, que comprende un rotor y un estátor separados por un entrehierro. Los ejemplos no limitantes de los sistemas giratorios incluyen generadores de CA (alternadores), generadores de CC, motores de CA, motores de CC, amplidinos, sincronizadores, metadinios, embragues de corrientes de Foucault, frenos de corrientes de Foucault, dinamómetros de Foucault, dinamómetros de histéresis y convertidores rotativos.

De acuerdo con la invención, el método para determinar el estado de salud del sistema giratorio comprende recibir, por una unidad de procesamiento, datos operativos asociados con el sistema giratorio, en tiempo real, desde una o más unidades de detección. Los datos operativos comprenden valores de parámetro correspondientes a una operación del sistema giratorio. Ejemplos no limitantes de los valores de parámetro pueden incluir frecuencia de vibración, amplitud de vibración, intensidad de campo magnético, densidad de flujo magnético, amplitud de ruido, frecuencia de ruido, corriente, tensión, temperatura y así sucesivamente.

De acuerdo con la invención, el método comprende además configurar una réplica virtual del sistema giratorio usando los datos operativos. La réplica virtual es una representación virtual del sistema giratorio. En un aspecto, la réplica virtual puede basarse en uno o más modelos del sistema giratorio. Los ejemplos no limitantes del uno o más modelos incluyen modelos CAD, modelos 1D, modelos 2D, modelos 3D, metamodelos, modelos estocásticos, modelos paramétricos, modelos de aprendizaje automático, modelos basados en inteligencia artificial (IA), modelos de red neuronal, modelos de aprendizaje profundo y así sucesivamente. La réplica virtual del sistema giratorio se configura usando los datos operativos actualizando la réplica virtual basándose en los datos operativos, usando la instancia de simulación en tiempo real. En otro aspecto, la réplica virtual puede crearse y almacenarse en un aparato basándose en información recibida de un fabricante de equipo original (OEM) del sistema giratorio. En otro aspecto, la réplica virtual puede almacenarse en un dispositivo de usuario, un ordenador personal, un dispositivo de almacenamiento extraíble, un servidor, un almacenamiento en la nube, y así sucesivamente. Además, puede accederse a la réplica virtual almacenada y descargarse en el aparato.

Ventajosamente, la réplica virtual facilita una técnica de sensor blando para determinar anomalías en el sistema giratorio. Más específicamente, la réplica virtual determina anomalías asociadas con los componentes internos del sistema giratorio en tiempo real, basándose en los datos operativos.

De acuerdo con la invención, el método comprende además generar resultados de simulación simulando el comportamiento del sistema giratorio en al menos una instancia de simulación del sistema giratorio basándose en la réplica virtual configurada del sistema giratorio. Los resultados de la simulación son indicativos del comportamiento del sistema giratorio. Más específicamente, los resultados de simulación se generan ejecutando la réplica virtual en una plataforma de simulación para la al menos una instancia de simulación.

Ventajosamente, la réplica virtual se ejecuta usando datos operativos recibidos en tiempo real. Los resultados de simulación generados corresponden a un comportamiento en tiempo real del sistema giratorio. Además, la velocidad de simulación puede maximizarse empleando un modelo del sistema giratorio.

De acuerdo con la invención, el método comprende además determinar la anomalía en un estado de salud del sistema giratorio basándose en el análisis de los resultados de simulación. La anomalía en el estado de salud corresponde a un estado de salud de al menos un componente interno del sistema giratorio. Debe entenderse que el término 'anomalía' como se usa en el presente documento se refiere a datos asociados con un estado anómalo. El estado anómalo puede incluir, pero sin limitación, asimetría del entrehierro, vibraciones del rotor, desplazamiento del rotor, asimetría del campo magnético, excentricidad del entrehierro, fuerzas desequilibradas, calentamiento, defectos de cojinete, rotura de la barra del rotor, problemas relacionados con el estator y así sucesivamente. Los ejemplos no limitantes del componente interno incluyen rotor, estátor, cojinetes, bobinas de estátor, escobillas, y así sucesivamente. De acuerdo con la invención, el método comprende además determinar una desviación en el comportamiento del sistema giratorio analizando los resultados de simulación con respecto a un comportamiento esperado del sistema giratorio. Además, se identifica al menos un modelo de correlación basándose en la desviación en el comportamiento del sistema giratorio. Además, se usa el modelo de correlación y uno o más valores de parámetro indicativos de la desviación en el comportamiento del sistema giratorio para determinar la anomalía en el estado de salud del sistema giratorio.

De acuerdo con la invención, el método comprende además generar una notificación que indica que el estado de salud

del sistema giratorio es anómalo en una interfaz gráfica de usuario. En un aspecto, puede representarse una vista representativa de la anomalía en la interfaz gráfica de usuario. La vista representativa de la anomalía comprende una representación en tiempo real del estado de salud del componente interno asociado con la anomalía. En un aspecto adicional, la representación en tiempo real del componente interno asociado con la anomalía es una representación codificada por colores del componente interno junto con la anomalía en el estado de salud del sistema giratorio. Además de la vista representativa, también puede generarse una alerta de audio para indicar la presencia de la anomalía.

Ventajosamente, la presente invención facilita notificar al personal de mantenimiento acerca de anomalías específicas relacionadas con componentes internos asociados con el sistema giratorio en tiempo real. Esto permite que el personal de mantenimiento realice un mantenimiento oportuno con menos tiempo de inactividad del sistema giratorio.

En un aspecto de la presente invención, el método comprende además determinar una causa raíz asociada con la anomalía determinada en el estado de salud del sistema giratorio y predecir una o más acciones de mantenimiento preventivo para abordar la causa raíz asociada con la anomalía determinada en el estado de salud del sistema rotatorio.

Ventajosamente, la presente invención permite la determinación de la anomalía en el estado de salud del sistema giratorio y la causa raíz de la anomalía sin desmontar el sistema giratorio.

En un aspecto de la presente invención, el método comprende además predecir un impacto de la anomalía en el sistema giratorio sobre el rendimiento de una instalación, en donde el sistema giratorio es una parte de la instalación. En un ejemplo, el impacto puede estar asociado con una calidad de operación de la instalación. En otro ejemplo, el impacto puede estar asociado con posibles daños a los sistemas acoplados operativamente al sistema giratorio.

En un aspecto de la presente invención, el método comprende además determinar una vida útil restante del componente interno del sistema giratorio basándose en la anomalía en el estado de salud del sistema giratorio. En un aspecto adicional, el método comprende además predecir una vida útil restante del sistema giratorio, basándose en la vida útil restante del componente interno del sistema giratorio.

Ventajosamente, la presente invención facilita la determinación de la vida útil restante del sistema giratorio sin prueba manual del sistema giratorio. En consecuencia, el método divulgado proporciona resultados más precisos en comparación con los métodos de prueba manuales. Además, el método divulgado también es más rápido en comparación con los métodos de prueba manuales.

En un aspecto de la presente invención, el método comprende además optimizar un tiempo de inactividad de la instalación planificando una actividad de mantenimiento preventivo basándose en el impacto de la anomalía en el estado de salud del sistema rotatorio en el rendimiento de la instalación.

Ventajosamente, la presente invención facilita la planificación automática de la actividad de mantenimiento preventivo sin requerir ninguna entrada manual. Además, los operadores humanos pueden planificar otras actividades basándose en la actividad de mantenimiento preventivo planificada. Además, la optimización del tiempo de inactividad ayuda a aumentar la productividad de la instalación.

De acuerdo con otro aspecto, se divulga la presente invención es un aparato para gestionar el estado de salud de un sistema giratorio. El aparato comprende una o más unidades de procesamiento y una unidad de memoria acoplada comunicativamente a la una o más unidades de procesamiento. La unidad de memoria comprende un módulo de monitorización de salud almacenado en forma de instrucciones legibles por máquina ejecutables por la una o más unidades de procesamiento. El módulo de monitorización de salud está configurado para realizar etapas de método descritas anteriormente. La ejecución del módulo de monitorización de salud también puede realizarse usando coprocesadores tales como una Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU), Matriz de Puertas Programable en Campo (FPGA) o Motores de Procesamiento/Cálculo Neuronal.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, el aparato puede ser un dispositivo informático perimetral. Como se usa en el presente documento, "informática perimetral" se refiere a un entorno informático que puede realizarse en un dispositivo perimetral (por ejemplo, conectado a las unidades de detección en una configuración industrial en un extremo y a un servidor o servidores remotos, tales como para un servidor o servidores informáticos en la nube en el otro extremo), que puede ser un dispositivo informático compacto que tiene un factor de forma y restricciones de recursos en términos de potencia informática pequeños. El aparato también puede implementarse usando una red de los dispositivos informáticos perimetrales. La red de dispositivos informáticos perimetrales puede denominarse como una red de niebla.

En otro aspecto, el aparato es un sistema de computación en la nube que tiene una plataforma basada informática en la nube configurada para proporcionar un servicio en la nube para analizar datos operativos. Como se usa en el presente documento, "informática en la nube" se refiere a un entorno de procesamiento que comprende recursos físicos y lógicos informáticos configurables, por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones, servicios,

etc., y datos distribuidos a través de la red, por ejemplo, la internet. El sistema informático en la nube proporciona acceso de red bajo demanda a una agrupación compartida de los recursos físicos y lógicos informáticos configurables. La red es, por ejemplo, una red alámbrica, una red inalámbrica, una red de comunicación o una red formada a partir de cualquier combinación de estas redes.

Adicionalmente, la presente invención es un sistema que comprende una o más unidades de detección, incluyendo unidades de detección, que pueden proporcionar datos operativos asociados con un sistema giratorio. El sistema comprende además un aparato, como se ha descrito anteriormente, acoplado comunicativamente a la una o más unidades de detección. El aparato está configurado para gestionar el estado de salud del sistema giratorio basándose en los datos operativos.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención es un producto de programa informático que tiene instrucciones legibles por máquina almacenadas en el mismo que, cuando se ejecutan por un procesador, hacen que el procesador realice un método como se ha descrito anteriormente.

Los atributos, características y ventajas mencionados anteriormente de esta invención y la manera de lograr los mismos, se harán más evidentes y comprensibles (obvios) con la siguiente **descripción de realizaciones** de la invención junto con los dibujos correspondientes. Las realizaciones ilustradas pretenden ilustrar, pero no limitar la invención.

La presente invención se ha explicado en detalle a continuación, tomando un motor de inducción de jaula de ardilla, en lo sucesivo denominado 'motor', como un ejemplo de un sistema giratorio.

La presente invención se describe además en lo sucesivo con referencia a las realizaciones ilustradas mostradas en los dibujos adjuntos, en los que:

- La Figura 1 ilustra un entorno de un aparato para gestionar el estado de salud de un motor, de acuerdo con una realización de la presente invención;
- La Figura 2 ilustra una configuración de prueba para calibrar una réplica virtual del motor, de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;
- La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo de un método para determinar la correlación del desplazamiento del rotor en el motor con la respuesta de vibración del alojamiento del motor, de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;
- La Figura 4 muestra un gráfico de desplazamiento de rotor simulado para desalineación angular, desalineación paralela y sin desalineación;
- La Figura 5 muestra las respuestas de vibración del alojamiento del motor, obtenidas a partir de datos operativos, para desalineación paralela;
- La Figura 6 muestra las respuestas de vibración del alojamiento del motor, obtenidas a partir de datos operativos, para desalineación angular;
- La Figura 7 ilustra un sistema para gestionar el estado de salud de una flota de motores, de acuerdo con una realización de la presente invención; y
- La Figura 8 ilustra un diagrama de flujo de un método para gestionar el estado de salud de un motor, de acuerdo con una realización de la presente invención.

En lo sucesivo en el presente documento, se describen en detalle realizaciones para llevar a cabo la presente invención. Las diversas realizaciones se describen ahora con referencia a los dibujos, en los que números de referencia similares se usan para referirse a elementos similares a lo largo de todos ellos. En la siguiente descripción, para fines de explicación, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar un completo entendimiento de una o más realizaciones. Puede ser evidente que tales realizaciones pueden ponerse en práctica sin estos detalles específicos.

Haciendo referencia a la Figura 1, se ilustra un entorno 100 de un aparato 105 para gestionar el estado de salud de un motor 110, de acuerdo con una realización de la presente invención. En un ejemplo, el entorno puede ser una instalación, en donde la instalación es una parte de la instalación. En la presente realización, el motor 110 es un motor de inducción de jaula de ardilla.

El motor 110 está asociado con una o más unidades de detección 115. La una o más unidades de detección 115 pueden comprender sensores acoplados operativamente al motor 110 para medir valores de parámetro correspondientes a una operación del motor 110 en tiempo real. En un ejemplo, la una o más unidades de detección 115 pueden medir valores asociados con vibraciones en diferentes partes del motor 110 tales como el alojamiento, el árbol, cojinetes y así sucesivamente. En otro ejemplo, la una o más unidades de detección 115 pueden medir valores de flujo magnético parásito generado por el motor 110. La una o más unidades de detección 115 están además acopladas comunicativamente a un controlador 120.

El controlador 120 comprende un transreceptor 125, una o más primeras unidades de procesamiento 130 y una primera memoria 135. El transreceptor 125 está configurado para conectar el controlador 120 a una interfaz de red

140. En una realización, el controlador 120 recibe datos operativos desde la una o más unidades de detección 115 y transmite los datos operativos al aparato 105 a través de la interfaz de red 140.

El aparato 105 incluye una unidad de comunicación 145, una o más segundas unidades de procesamiento 150, una pantalla 155, una interfaz gráfica de usuario (GUI) 160 y una segunda memoria 165 acopladas comunicativamente entre sí. En una realización preferida, la unidad de comunicación 145 incluye un transmisor (no mostrado), un receptor (no mostrado) y un puerto Gigabit Ethernet (no mostrado). La segunda memoria 165 puede incluir Paquete en Paquete (PoP) de Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) de 2 Gigabytes apilado y almacenamiento Flash. La una o más segundas unidades de procesamiento 150 están configuradas para ejecutar las instrucciones de programa informático definidas en los módulos. Además, la una o más segundas unidades de procesamiento 150 también están configuradas para ejecutar las instrucciones en la segunda memoria 165 simultáneamente. La pantalla 155 incluye una pantalla de interfaz multimedia de alta definición (HDMI) y un ventilador de refrigeración (no mostrado). Adicionalmente, el personal de control puede acceder al aparato 105 a través de la GUI 160. La GUI 160 puede incluir una interfaz basada en web, una interfaz de aplicación descargable basada en web, y así sucesivamente.

En una realización, el aparato 105 está configurado en una plataforma informática en la nube (no mostrada). La plataforma informática en la nube puede implementarse como un servicio para analizar datos.

La segunda memoria 165 incluye una pluralidad de módulos: un módulo de calibración 170, un módulo de correlación 175, un módulo de simulación 180 y un módulo de diagnóstico 185, en lo sucesivo denominados colectivamente como módulo de monitorización de salud 190. La siguiente descripción explica funciones de los módulos cuando se ejecutan por la una o más segundas unidades de procesamiento 150.

El módulo de calibración 170 calibra una réplica virtual del motor 110 para replicar respuestas sustancialmente similares del motor 110 en tiempo real, tras la simulación. La réplica virtual puede basarse en metadatos asociados con el motor 110, datos históricos asociados con el motor 110 y un modelo del motor 110. Los metadatos pueden incluir un valor nominal de corriente del motor 110, un material de alojamiento del motor 110, coeficientes de histéresis magnética de diferentes partes del motor 110, coeficientes térmicos de diferentes partes del motor 110, y así sucesivamente. Los datos históricos pueden comprender información histórica relacionada con el rendimiento, mantenimiento y estado de salud del motor 110. El modelo del motor 110 puede incluir modelos basados en la física tales como un modelo de flujo magnético, un modelo de vibración o una combinación de los mismos.

En particular, el módulo de calibración 170 calibra la réplica virtual actualizando el modelo para representar con precisión el motor 110. En otras palabras, la réplica virtual se calibra para garantizar un cierto grado de fidelidad con el motor 110. La calibración de la réplica virtual implica esencialmente el ajuste de parámetros asociados con el modelo para representar con precisión la respuesta del motor 110 para una condición de operación dada, por ejemplo, carga. En una realización, la réplica virtual se calibra usando técnicas de aprendizaje automático que incluyen, pero sin limitación, técnicas de aprendizaje supervisado, técnicas de aprendizaje no supervisado y técnicas de aprendizaje por refuerzo. Las técnicas de aprendizaje automático pueden usar simulaciones estocásticas basadas en la réplica virtual y los datos operativos obtenidos del motor 110 para calibrar la réplica virtual. En un ejemplo, la réplica virtual puede calibrarse usando una técnica de calibración bayesiana. Tras la calibración, una respuesta de la réplica virtual, es decir, en el tiempo $t=10$ segundos, puede representar la respuesta del motor 110 en el tiempo $t=10$ segundos bajo las mismas condiciones operativas. Las condiciones operativas pueden definirse por una instancia de simulación. En otra realización, la réplica virtual se calibra usando técnicas basadas en inteligencia artificial (IA). En un ejemplo, la técnica basada en IA puede implicar un aprendizaje profundo. El proceso de calibración de la réplica virtual se explica en detalle, usando un ejemplo, con referencia a la Figura 2.

El módulo de correlación 175 está configurado para determinar una o más correlaciones entre valores de parámetro asociados con el motor 110 y una o más anomalías en el motor 110. En un ejemplo, la una o más correlaciones están predeterminadas por el módulo de correlación 175 usando una técnica de análisis de correlación. La técnica de análisis de correlación puede implicar técnicas de aprendizaje automático, técnicas de regresión no lineal, técnicas de regresión lineal y así sucesivamente. La una o más correlaciones determinadas se usan además para generar un modelo de correlación. Un método ilustrativo para determinar una correlación entre las vibraciones del alojamiento y el desplazamiento del rotor (es decir, el desplazamiento del rotor) se ha explicado con referencia a las Figuras 3, 4, 5 y 6.

El módulo de simulación 180 está configurado para proporcionar una plataforma de simulación para la réplica virtual. La plataforma de simulación permite que la réplica virtual simule el comportamiento en tiempo real del motor 110 basándose en los datos operativos recibidos en tiempo real. En la presente realización, los datos operativos obtenidos de la una o más unidades de detección 115 se usan para simular un comportamiento del motor 110 usando la réplica virtual. Para simular el comportamiento del motor 110, en primer lugar, la réplica virtual se configura basándose en los datos operativos. Más específicamente, la réplica virtual se actualiza usando los datos operativos, basándose en una instancia de simulación asociada con el motor 110. La instancia de simulación puede definir condiciones operativas o del entorno que pueden afectar el comportamiento del motor 110. Después de la actualización, la réplica virtual puede simular el comportamiento del motor 110 en tiempo real, tras ejecutarse en la plataforma de simulación. Por lo tanto, en una realización preferida, los datos operativos se alimentan al metamodelo del motor 110 en la réplica virtual

durante la simulación. Tras la simulación, el módulo de simulación 180 genera resultados de simulación.

El módulo de diagnóstico 185 está configurado para analizar los resultados de simulación generados por el módulo de simulación 180. Más específicamente, los resultados de simulación se analizan para determinar una desviación en el comportamiento del motor 110 con respecto a un comportamiento esperado del motor 110. Por ejemplo, la desviación en el comportamiento del motor 110 puede estar asociada con el desplazamiento del rotor en el motor 110. El comportamiento esperado del motor 110 puede determinarse basándose en condiciones predefinidas almacenadas en la segunda memoria 165. Por ejemplo, el estado predefinido puede incluir un desplazamiento del rotor menor que un valor umbral superior de 0,05 mm. Si el valor real del desplazamiento del rotor en el motor 110 es de 0,08 mm, a continuación, la desviación puede ser de 0,03 mm. Basándose en la desviación en el comportamiento del motor 110, se identifican uno o más modelos de correlación de entre los modelos de correlación generados por el módulo de correlación 175. Además, el módulo de diagnóstico 185 determina la anomalía en el motor 110 usando el uno o más modelos de correlación identificados. Por ejemplo, la anomalía puede ser una de desalineación paralela del rotor, desalineación angular del rotor, asimetría del entrehierro, y así sucesivamente.

Tras determinar la anomalía, el módulo de diagnóstico 185 puede determinar una causa raíz asociada con la anomalía determinada en el estado de salud del sistema giratorio. Por ejemplo, la causa raíz asociada con la desalineación angular del rotor puede deberse a la deformación del motor 110 debido a un acoplamiento inapropiado con un sistema de accionamiento. Tras determinar la causa raíz, el módulo de diagnóstico 185 puede predecir una o más acciones de mantenimiento preventivo para abordar la causa raíz asociada con la anomalía determinada en el estado de salud del motor 110.

El módulo de diagnóstico 185 puede predecir además un impacto de la anomalía en el estado de salud del motor 110 en el rendimiento de la instalación. Por ejemplo, la anomalía en el estado de salud del motor 110 puede afectar a un sistema accionado por el motor 110, lo que puede conducir en última instancia a un fallo del sistema de accionamiento. El módulo de diagnóstico 185 puede optimizar además un tiempo de inactividad de la instalación planificando una actividad de mantenimiento preventivo basándose en el impacto de la anomalía en el estado de salud del sistema rotatorio en el rendimiento de la instalación.

El módulo de diagnóstico 185 puede determinar además una vida útil restante del componente interno correspondiente a la anomalía en el estado de salud del motor 110. Por ejemplo, en caso de desalineación angular del rotor, el componente interno puede ser el rotor, un cojinete acoplado al rotor, y así sucesivamente. Además, basándose en la vida útil restante del componente interno, se puede predecir una vida útil restante del motor 110. Además, el módulo de diagnóstico puede generar además sugerencias para acciones de mantenimiento preventivo para aumentar la vida restante del motor 110.

El módulo de diagnóstico 185 genera además una notificación que indica que el estado de salud del motor 110 es anómalo, en la GUI 160. La notificación puede incluir una vista representativa de la anomalía. La vista representativa de la anomalía puede comprender una representación en tiempo real del estado de salud del componente interno asociado con la anomalía. Por ejemplo, cuando la anomalía es una desalineación angular del rotor, puede mostrarse una representación codificada por colores de una trayectoria de movimiento del rotor desalineado dentro de un entrehierro del motor 110 y un cambio resultante en la distribución de flujo magnético dentro del motor 110. Además, el componente interno correspondiente a la anomalía, que es el rotor, puede resaltarse en la representación codificada por colores. La notificación puede comprender además información asociada con el impacto de la anomalía en el motor 110 sobre el rendimiento de la instalación, la vida útil restante del componente interno y la vida útil restante del motor 110. La vista representativa puede comprender además una planificación propuesta de la actividad de mantenimiento preventivo y un correspondiente tiempo de inactividad de la instalación. Además, un operador humano puede interactuar con la GUI 160 para comprender la naturaleza de la anomalía y las acciones de mantenimiento preventivo requeridas. En otro ejemplo, la notificación puede comprender además una alerta de audio.

En otra realización, el controlador 120 realiza las funciones del aparato 105. La primera memoria 135 del controlador 120 puede comprender módulos similares al módulo de monitorización de salud 190.

En otra realización más, el aparato 105 puede tener la forma de un dispositivo que puede desplegarse sobre o cerca del motor 110. Además, el dispositivo puede acoplarse comunicativamente a un dispositivo de visualización que comprende una GUI (similar a la GUI 160). El dispositivo de visualización puede ubicarse en una ubicación remota, permitiendo por tanto que un operador humano monitorice el estado de salud del motor 110 de forma remota.

Haciendo referencia a la Figura 2, se muestra una configuración de prueba 200 para calibrar una réplica virtual de un motor 205 para representar una operación en tiempo real del motor 205, de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención. Más específicamente, la configuración 200 se usa para calibrar la réplica virtual del motor 205 para representar con precisión el motor 205 junto con anomalías, si las hubiera, en tiempo real. La réplica virtual reside en un aparato 207 (similar al aparato 105). En la presente realización ilustrativa, la anomalía está asociada con un rotor del motor 205. La anomalía puede incluir, pero sin limitación, un desequilibrio del rotor, una desalineación paralela del rotor, una desalineación angular del rotor, desplazamiento del rotor y una barra de rotor rota.

La configuración 200 comprende una primera unidad de detección 210, una segunda unidad de detección 215 y una tercera unidad de detección 220 para medir parámetros operativos asociados con el motor 205. La primera unidad de detección 210 comprende sensores de vibración radial y sensores de vibración axial montados en un alojamiento del motor 205, para medir vibraciones en el alojamiento. Los sensores de vibración radial y/o los sensores de vibración axial pueden implementarse usando uno de acelerómetros, medidores de velocidad, medidores de desplazamiento y sensores sin contacto tales como sensores de Foucault. La segunda unidad de detección 215 comprende un sensor sin contacto, por ejemplo, un sensor de Foucault, para la medición de vibraciones del árbol. El sensor sin contacto puede colocarse directamente encima del árbol del motor 205. La segunda unidad de detección 215 puede comprender además un amplificador de desplazamiento para amplificar las vibraciones del árbol. La tercera unidad de detección 220 comprende una sonda de flujo montada en el alojamiento del motor 205. La tercera unidad de detección 220 comprende además un medidor de Gauss acoplado comunicativa y eléctricamente a la sonda de flujo. El medidor de Gauss junto con la sonda de flujo está configurado para medir el flujo parásito asociado con el motor 205. En otras palabras, el medidor de Gauss está configurado para realizar una prueba de fuga de flujo en el motor 205. Adicionalmente, las salidas de cada una de la primera unidad de detección 210, la segunda unidad de detección 215 y la tercera unidad de detección 220 pueden procesarse además por respectivas unidades de acondicionamiento de señal. Los datos operativos de la primera unidad de detección 210, la segunda unidad de detección 215 y la tercera unidad de detección 220 se envían además al aparato 207. El aparato 207 simula además un comportamiento del motor 205 usando los datos operativos basándose en la réplica virtual. La réplica virtual comprende metadatos, datos históricos y un modelo asociado con el motor 205.

En una realización, el modelo es un modelo de flujo magnético tridimensional del motor 205, por ejemplo, un modelo de elementos finitos (FE). El modelo de flujo magnético puede representar inicialmente la distribución de flujo magnético en el motor 205, basándose en características de magnetización de diferentes componentes tales como el rotor, estator, cojinetes, carcasa y así sucesivamente, y condiciones de contacto definidas para cada uno de los componentes. Además, el modelo de flujo magnético puede usarse para simular la distribución de flujo magnético en diferentes regiones dentro del motor 205 para diferentes condiciones de carga y para diferentes tipos de anomalías. Además, el modelo de flujo magnético se valida basándose en el flujo magnético parásito medido por la tercera unidad de detección 220. Más específicamente, el modelo de flujo magnético se valida comparando el valor medido de la densidad de flujo magnético parásito con el valor simulado de la densidad de flujo magnético parásito. Basándose en el resultado de la validación, el modelo de flujo magnético puede calibrarse a una precisión predefinida con respecto al flujo magnético parásito. Debe entenderse que, el flujo magnético parásito es un parámetro que puede medirse externamente usando la tercera unidad de detección 220. Sin embargo, es difícil la medición de la densidad de flujo magnético en regiones críticas dentro del motor 205, por ejemplo, en el rotor, las bobinas del estator, y así sucesivamente. En consecuencia, la validación de valores simulados de densidad de flujo magnético en las regiones críticas es problemática. Por lo tanto, la réplica virtual puede calibrarse con respecto a la densidad de flujo magnético en regiones críticas dentro del motor 205 aplicando, al flujo magnético parásito calibrado, un factor de corrección predefinido correspondiente a cada una de las regiones críticas. De manera similar, también pueden calibrarse otros parámetros asociados con el modelo de flujo magnético. Además, los parámetros pueden calibrarse continuamente como se ha descrito anteriormente, para replicar el rendimiento casi en tiempo real del motor 205 usando la réplica virtual.

En otra realización, el modelo puede ser un modelo de vibración bidimensional, por ejemplo, un modelo de elementos finitos. En un ejemplo, el modelo de vibración bidimensional puede basarse en un modelo de resorte-masa-amortiguador del motor 205. El modelo de resorte-masa-amortiguador puede incluir cojinetes modelados como resortes con rigidez equivalente, cubiertas de ventilador modeladas como masas concentradas y así sucesivamente. El modelo de vibración bidimensional puede usarse para simular vibraciones de alojamiento y vibraciones de árbol en el motor 205. De manera similar al caso del modelo de flujo magnético, los valores de las vibraciones de alojamiento simuladas y las vibraciones de árbol simuladas se validan comparándolos con los valores de las vibraciones de alojamiento recibidas desde la primera unidad de detección 210 y las vibraciones de árbol recibidas desde la segunda unidad de detección 215 respectivamente. Basándose en la validación, el modelo de vibración bidimensional puede calibrarse con una precisión predefinida con respecto a las vibraciones de alojamiento y las vibraciones de árbol. En una realización preferida, las respuestas de vibración externa de la réplica virtual (por ejemplo, la respuesta de vibración del alojamiento, es decir, la respuesta de vibración asociada con el alojamiento) se calibran usando técnicas de aprendizaje automático. Además, las respuestas de vibración internas de la réplica virtual pueden calibrarse basándose en las respuestas de vibración externas, aplicando un factor de corrección. En un ejemplo, la respuesta de vibración interna puede ser la respuesta de vibración asociada con el rotor (o respuesta de vibración de rotor). La respuesta de vibración de rotor así calculada puede usarse además para simular el desplazamiento del rotor usando la réplica virtual. Por ejemplo, el desplazamiento del rotor puede simularse basándose en un criterio predefinido de que el rotor se desplaza 0,05 mm durante las vibraciones.

Haciendo referencia a la Figura 3, junto con la Figura 2 y las Figuras 4, 5 y 6, se muestra un diagrama de flujo de un método 300 para determinar la correlación del desplazamiento del rotor con la respuesta de vibración del alojamiento, de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención. La Figura 4 ilustra el desplazamiento de rotor simulado (en milímetros) con respecto a una pluralidad de estaciones 1, 2... 13 en el rotor para desalineación angular del rotor, desalineación paralela del rotor y sin desalineación del rotor. Además, las Figuras 5 y 6 muestran respuestas de vibración de alojamiento reales del motor 205 para desalineación paralela y desalineación angular,

respectivamente. El método 300 comprende las etapas 305-325.

En la etapa 305, se determina el desplazamiento del rotor basándose en simulaciones usando la réplica virtual calibrada. Las estaciones 1, 2... 13 representan puntos de medición igualmente distribuidos a lo largo de la longitud del rotor, en donde la estación 7 representa un punto de medición central en el rotor. Más específicamente, los resultados simulados de la Figura 4 muestran los valores cuadráticos medios del desplazamiento del rotor en cada una de las estaciones para desalineación angular, desalineación paralela y sin desalineación.

En la etapa 310, la respuesta de vibración del alojamiento se obtiene basándose en los valores medidos de las vibraciones del alojamiento desde la primera unidad de detección 210. Para el presente ejemplo, las respuestas de vibración del alojamiento a partir de los resultados de la prueba, para la desalineación paralela y la desalineación angular se muestran en la Figura 5 y la Figura 6, respectivamente. Las respuestas de vibración del alojamiento se obtienen aplicando una transformada rápida de Fourier (FFT) a los valores medidos de vibración del alojamiento a una frecuencia de muestreo SF. La frecuencia mínima Δf de la FFT puede darse por:

$$\Delta f = SF/N = 1/(N \cdot \Delta t)$$

donde, N es el número de puntos de FFT y Δt es el paso de tiempo mínimo. El paso de tiempo mínimo Δt es la inversa de la frecuencia mínima Δf . Mientras se muestrean los valores de vibración, la frecuencia mínima Δf se establece de tal manera que la frecuencia de línea no se fusiona con la frecuencia mínima en ningún punto. Basándose en los resultados de la FFT, se determina un primer armónico 505, un segundo armónico 510, un tercer armónico 515 y un cuarto armónico 520 de la respuesta de vibración de alojamiento para la desalineación paralela del rotor, como se muestra en la Figura 5. De manera similar, un primer armónico 605, un segundo armónico 610, un tercer armónico 615 y un cuarto armónico 620 de la respuesta de vibración de alojamiento para desalineación angular del rotor también se determinan basándose en resultados de la FFT, como se muestra en la Figura 6.

Haciendo referencia a las Figuras 4 y 5, para desalineación paralela, el desplazamiento de rotor simulado en la estación 7 es de 0,013 mm y los resultados de prueba correspondientes muestran que el pico del cuarto armónico 520 tiene una amplitud de 0,05 m/s². De manera similar, haciendo referencia a las Figuras 4 y 6, para desalineación angular, el desplazamiento de rotor simulado en la estación 7 es de 0,023 mm y los resultados de prueba correspondientes muestran que el pico del cuarto armónico 620 tiene una amplitud de 0,1 m/s². En otras palabras, cuando el desplazamiento del rotor aumenta en un factor de 2, la amplitud del cuarto armónico 620 también aumenta en un factor de dos. Por lo tanto, existe una fuerte correlación entre el desplazamiento de rotor simulado y la amplitud del pico del cuarto armónico 620 (o 520) de la respuesta de vibración del alojamiento. La correlación es una consecuencia directa del desplazamiento del rotor y la asimetría del entrehierro resultante que contribuye a las vibraciones del alojamiento. La correlación entre el desplazamiento de rotor simulado y el pico del cuarto armónico 620 (o 520) se establece usando una técnica de análisis de correlación en la etapa 315. Como el desplazamiento del rotor provoca un cambio en la densidad de flujo del entrehierro, también es posible identificar correlaciones entre la densidad de flujo del entrehierro y el cuarto armónico 620(520). En otra implementación, también se puede determinar una correlación entre el desplazamiento de rotor simulado y la densidad de flujo de entrehierro medida.

En la etapa 320, se genera un modelo de correlación para las correlaciones establecidas en la etapa 315, para determinar el desplazamiento del rotor basándose en el pico del cuarto armónico 620 (o 520) de la respuesta de vibración del alojamiento obtenida del motor 205 en tiempo real. De manera similar, pueden generarse modelos de correlación para determinar anomalías indicadas por otros armónicos de la respuesta de vibración del alojamiento. Por ejemplo, el pico del primer armónico 505 (o 605) puede correlacionarse con desequilibrios en el rotor, el pico del tercer armónico 515 (o 615) puede correlacionarse con desalineaciones en el rotor y así sucesivamente.

Como puede entenderse, la asimetría del entrehierro resultante del desplazamiento del rotor provoca variaciones de flujo magnético en el motor 205. La réplica virtual también puede determinar variaciones de flujo magnético en ubicaciones críticas dentro del motor 205 basándose en los desplazamientos del rotor, como se indica en la etapa 325. En un ejemplo, pueden generarse modelos de correlación, como se ha explicado anteriormente, para mapear la respuesta de vibración del alojamiento a la densidad de flujo magnético en las ubicaciones críticas dentro del motor 205.

Haciendo referencia a la Figura 7, se ilustra un sistema 700 para gestionar el estado de salud de una flota de motores 705-1, 705-2... 705-n (colectivamente denominados flota 705), de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema 700 comprende un aparato 710 (similar al aparato 105).

El aparato 710 está acoplado comunicativamente a una o más unidades de detección (no mostradas) asociadas con cada uno de los motores en la flota 705. Cada una de la una o más unidades de detección mide valores asociados con un parámetro operativo de cada uno de los motores en la flota 705. El aparato 710 está acoplado comunicativamente además a un servidor 715 a través de una interfaz de red 720. El servidor 715 está acoplado comunicativamente además a un dispositivo de visualización 745 que comprende una GUI.

El servidor 715 incluye una unidad de comunicación 726, una o más unidades de procesamiento 728 y una memoria

730. La memoria 730 está configurada para almacenar instrucciones de programa informático definidas por módulos, por ejemplo, el módulo de monitorización de salud 735 (similar al módulo de monitorización de salud 190). Además, la memoria 730 también puede almacenar al menos una réplica virtual que corresponde a al menos un motor en la flota 705.

5 En una realización, el servidor 715 también puede implementarse en un entorno informático en la nube, donde los recursos informáticos se entregan como un servicio a través de la interfaz de red 720. Como se usa en el presente documento, "entorno informático en la nube" se refiere a un entorno de procesamiento que comprende recursos físicos y lógicos informáticos configurables, por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones, servicios, etc., y
10 datos distribuidos a través de la interfaz de red 720, por ejemplo, la internet. El entorno informático en la nube proporciona acceso de red bajo demanda a una agrupación compartida de los recursos físicos y lógicos informáticos configurables. La interfaz de red 720 es, por ejemplo, una red alámbrica, una red inalámbrica, una red de comunicación o una red formada a partir de cualquier combinación de estas redes.

15 En la presente realización, el aparato 710 actúa como un dispositivo perimetral para recopilar datos operativos asociados con cada uno de los motores en la flota 705. Las correlaciones entre datos operativos y anomalías en el estado de salud para cada uno de los motores en la flota 705 pueden variar. Las variaciones en las correlaciones pueden deberse a la degradación del rendimiento, cambios en el entorno operativo asociado con cada uno de los motores, tolerancias de defectos de cada uno de los motores, perfil de carga de cada uno de los motores y así sucesivamente. En un ejemplo, cada motor en la flota 705 puede estar asociado con un factor de variabilidad. El factor
20 de variabilidad puede tener en cuenta las variaciones asociadas con el motor.

La memoria 730 puede comprender además un módulo de calibración de flota 735 para calibrar una réplica virtual correspondiente a la flota 705. La réplica virtual puede calibrarse, usando técnicas basadas en inteligencia artificial
25 (IA). Por ejemplo, la técnica basada en IA puede usar un modelo de IA basado en aprendizaje profundo para calibrar dinámicamente la réplica virtual para cada uno de los motores, basándose en datos operativos recibidos en tiempo real y los factores de variabilidad, si los hubiera. El modelo de IA puede entrenarse, basándose en datos históricos asociados con cada uno de los motores, para calibrar la réplica virtual. El módulo de monitorización de salud 740 determina además una o más anomalías en cada uno de los motores en la flota 705, basándose en las réplicas
30 virtuales calibradas. Además, se representa una vista representativa de la una o más anomalías en la GUI del dispositivo de visualización 745. Por ejemplo, la vista representativa puede indicar, usando codificación por colores, desplazamientos de rotor en uno o más motores en la flota 705 y variaciones de flujo magnético en el uno o más motores resultantes del desplazamiento de rotor. La vista representativa puede comprender representaciones bidimensionales de las anomalías. En otro ejemplo, la vista representativa puede comprender representaciones
35 tridimensionales. Además, las anomalías en el estado de salud del motor, es decir, el motor 705-1, pueden usarse además para determinar una vida útil restante asociada con un componente interno correspondiente a la anomalía en el motor 705-1, una vida útil restante del motor 705-1, un impacto de la anomalía en el rendimiento de una instalación en donde la flota 705 es una parte de la instalación y así sucesivamente. El módulo de monitorización de salud 740 también puede determinar un impacto de la anomalía en el motor 705-1 en otros motores en la flota 705. Además, el
40 módulo de monitorización de salud 740 también puede planificar acciones de mantenimiento preventivo para la flota 705 basándose en las anomalías detectadas en cada uno de los motores en la flota 705. El módulo de monitorización de salud 740 puede determinar además un tiempo de inactividad optimizado para la instalación basándose en las actividades de mantenimiento preventivo planificadas.

45 Haciendo referencia a la Figura 8, se muestra un diagrama de flujo de un método 800 para gestionar el estado de salud de un motor, de acuerdo con una realización de la presente invención. En un ejemplo, el método 800 puede implementarse en el aparato 105. El método comprende las etapas 805-830.

50 En la etapa 805, los datos operativos asociados con el motor 110 se reciben en tiempo real desde una o más unidades de detección 115. Los datos operativos comprenden valores de parámetro correspondientes a una operación del motor 110.

En la etapa 810, se configura una réplica virtual del motor, por el módulo de simulación 180, usando los datos operativos.
55

En la etapa 815, se generan resultados de simulación, por el módulo de simulación 180, simulando un comportamiento del motor 110 en al menos una instancia de simulación del motor basándose en la réplica virtual configurada del motor. Los resultados de la simulación son indicativos del comportamiento del sistema giratorio.

60 En la etapa 820, se determina una anomalía en el estado de salud del motor, por el módulo de diagnóstico 185, basándose en el análisis de los resultados de simulación. La anomalía en el estado de salud corresponde a un estado de salud de al menos un componente interno del motor 110.

65 En la etapa 825, se genera una notificación, por el módulo de diagnóstico 185, para indicar que el estado de salud del motor es anómalo en la GUI 160.

La presente invención puede tomar la forma de un producto de programa informático que comprende módulos de programa accesibles desde un medio usable por ordenador o legible por ordenador que almacena código de programa para su uso por o en conexión con uno o más ordenadores, procesadores o sistemas de ejecución de instrucciones. Para el propósito de esta descripción, un medio usable por ordenador o legible por ordenador es cualquier aparato tangible que pueda contener, almacenar, comunicar, propagar o transportar el programa para su uso por o en conexión con el sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones. El medio (o aparato o dispositivo) puede ser electrónico, magnético, óptico, electromagnético, infrarrojo, o sistema semiconductor o un medio de propagación en sí mismos, ya que los portadores de señales no están incluidos en la definición de medio físico legible por ordenador, incluye una memoria de semiconductores o de estado sólido, cinta magnética, un disquete de ordenador extraíble, memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura (ROM), un disco magnético rígido y disco óptico como tal la memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM), lectura/escritura de disco compacto, y DVD. Tanto los procesadores como el código de programa para implementar cada aspecto de la tecnología pueden estar centralizados o distribuidos (o una combinación de los mismos) como es conocido por los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador para determinar el estado de salud de al menos un sistema giratorio (110), comprendiendo el método:

5 recibir, por una unidad de procesamiento, datos operativos asociados con el sistema giratorio en tiempo real desde una o más unidades de detección (115), en donde los datos operativos comprenden valores de parámetro correspondientes a una operación del sistema giratorio (110);
configurar una réplica virtual del sistema giratorio (110) usando los datos operativos;
10 generar resultados de simulación simulando el comportamiento del sistema giratorio (110) en al menos una instancia de simulación del sistema giratorio (110) basándose en la réplica virtual configurada del sistema giratorio (110), en donde los resultados de simulación son indicativos del comportamiento del sistema giratorio (110) y en donde los resultados de la simulación se analizan para determinar una desviación en el comportamiento del sistema giratorio (110) con respecto a un comportamiento esperado del sistema giratorio (110);
15 identificar al menos un modelo de correlación de entre una pluralidad de modelos de correlación basándose en la desviación en el comportamiento del sistema giratorio, en donde cada modelo de correlación determina una o más correlaciones entre valores de parámetro asociados con el sistema giratorio y una o más anomalías en el mismo; determinar una anomalía en un estado de salud del sistema giratorio (110) basándose en el análisis de los resultados de simulación, en donde la anomalía se determina en tiempo real usando el al menos un modelo de correlación identificado, en donde el al menos un modelo de correlación identificado y los valores de parámetro indicativos de la desviación se usan para determinar la anomalía, en donde la anomalía corresponde a un estado de salud de al menos un componente interno del sistema giratorio (110); y
20 generar una notificación que indica que el estado de salud del sistema giratorio (110) es anómalo.

25 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la réplica virtual es una representación virtual del sistema giratorio (110).

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde configurar la réplica virtual del sistema giratorio (110) usando los datos operativos comprende:

30 actualizar la réplica virtual del sistema giratorio (110) basándose en los datos operativos, usando la instancia de simulación, en tiempo real.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde determinar la anomalía en el estado de salud del sistema giratorio (110) comprende:

35 identificar el al menos un modelo de correlación de una pluralidad de modelos de correlación.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde generar la notificación que indica que el estado de salud del sistema giratorio (110) es anómalo comprende:

40 representar una vista representativa de la anomalía en una interfaz gráfica de usuario (160), en donde la vista representativa de la anomalía comprende una representación en tiempo real del estado de salud del componente interno asociado con la anomalía.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la representación en tiempo real del componente interno asociado con la anomalía es una representación codificada por colores del componente interno junto con la anomalía en el estado de salud del sistema giratorio (110).

7. Un aparato (105) para gestionar el estado de salud de un sistema giratorio, comprendiendo el aparato (105):

50 una o más unidades de procesamiento (150); y una unidad de memoria (165) acoplada comunicativamente a la una o más unidades de procesamiento (150), en donde la unidad de memoria (165) comprende un módulo de monitorización de salud (190) almacenado en forma de instrucciones legibles por máquina ejecutables por la una o más unidades de procesamiento (150), en donde el módulo de monitorización de salud (190) está configurado para realizar etapas de método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

8. Un sistema que comprende:

60 una o más unidades de detección (115) que pueden proporcionar datos operativos asociados con un sistema giratorio (110); y un aparato (105) de acuerdo con la reivindicación 7, acoplado comunicativamente a la una o más unidades de detección (115), en donde el aparato (105) está configurado para gestionar el estado de salud del sistema giratorio (110) basándose en los datos operativos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de método 1 a 6.

9. Un producto de programa informático que tiene instrucciones legibles por máquina almacenadas en el mismo, que cuando se ejecutan por una o más unidades de procesamiento, hacen que las unidades de procesamiento realicen un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

FIG 1

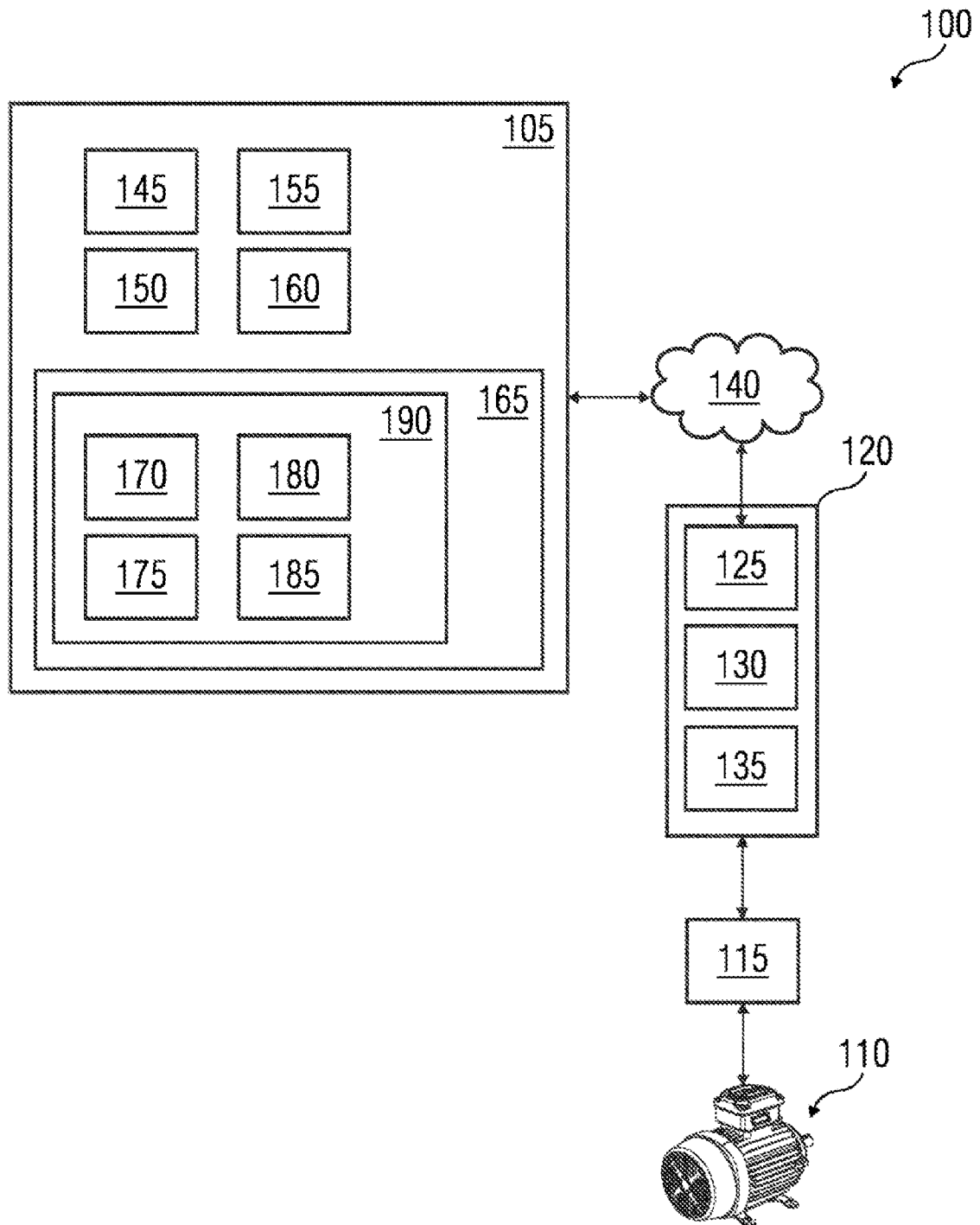


FIG 2

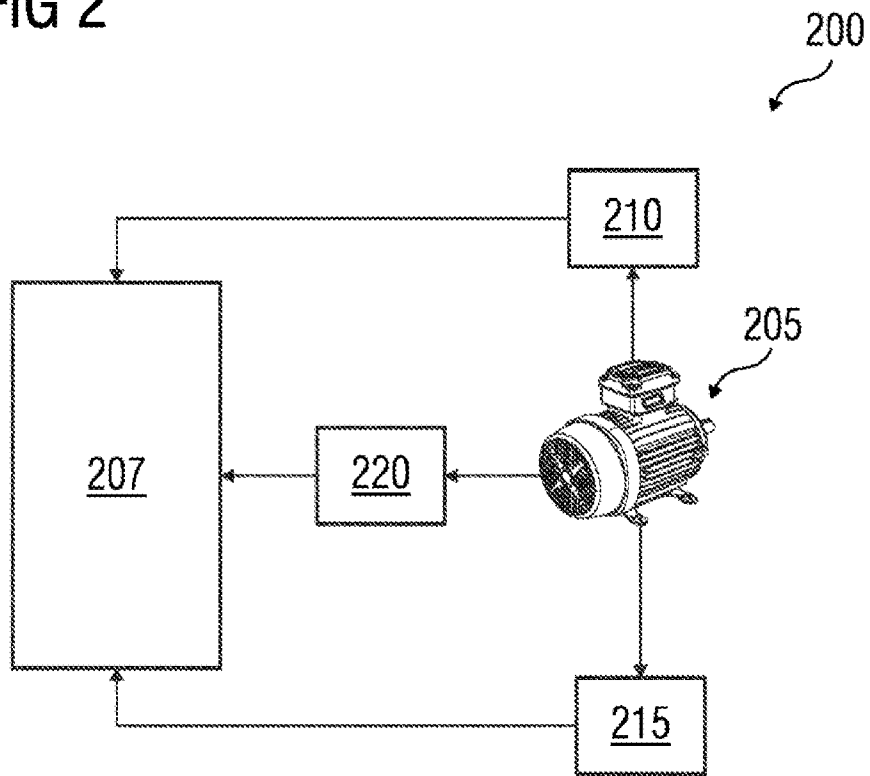


FIG 3

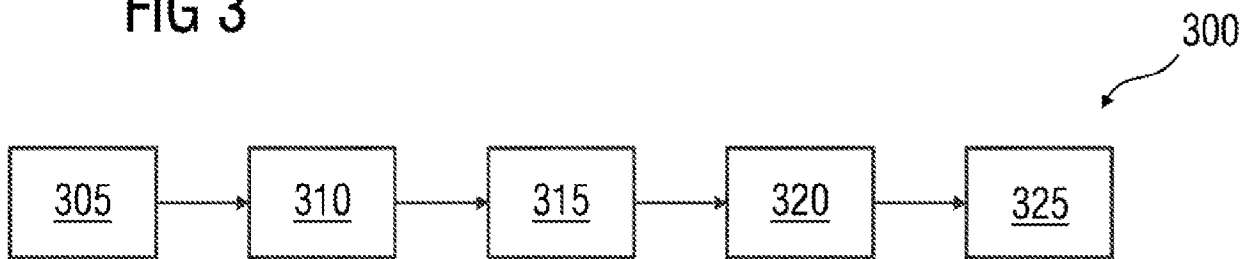


FIG 4

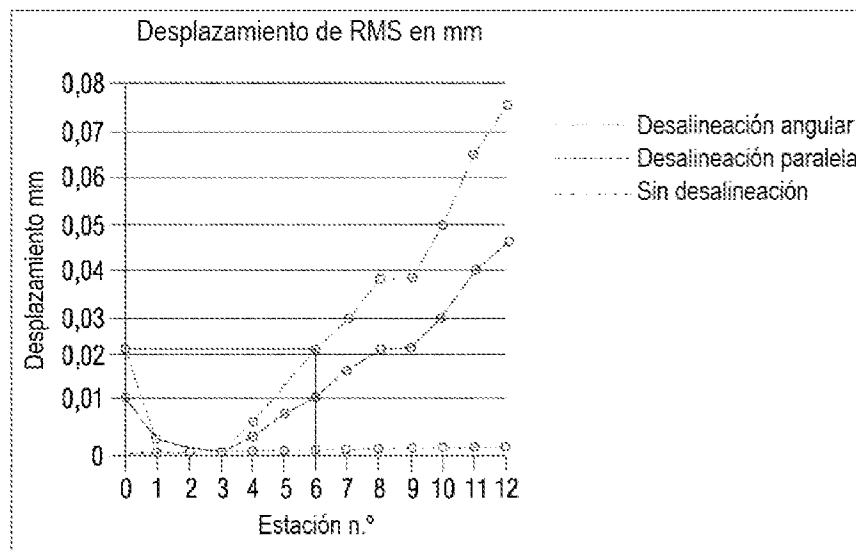


FIG 5

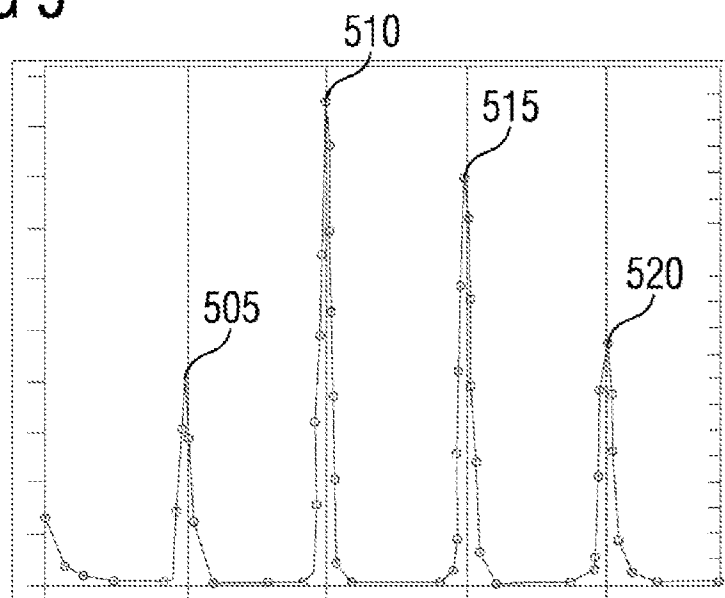


FIG 6

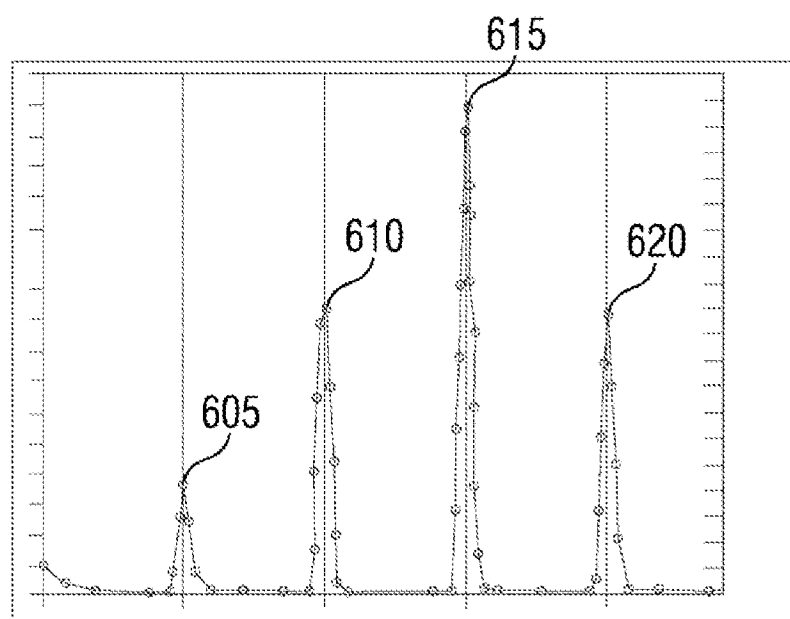


FIG 7

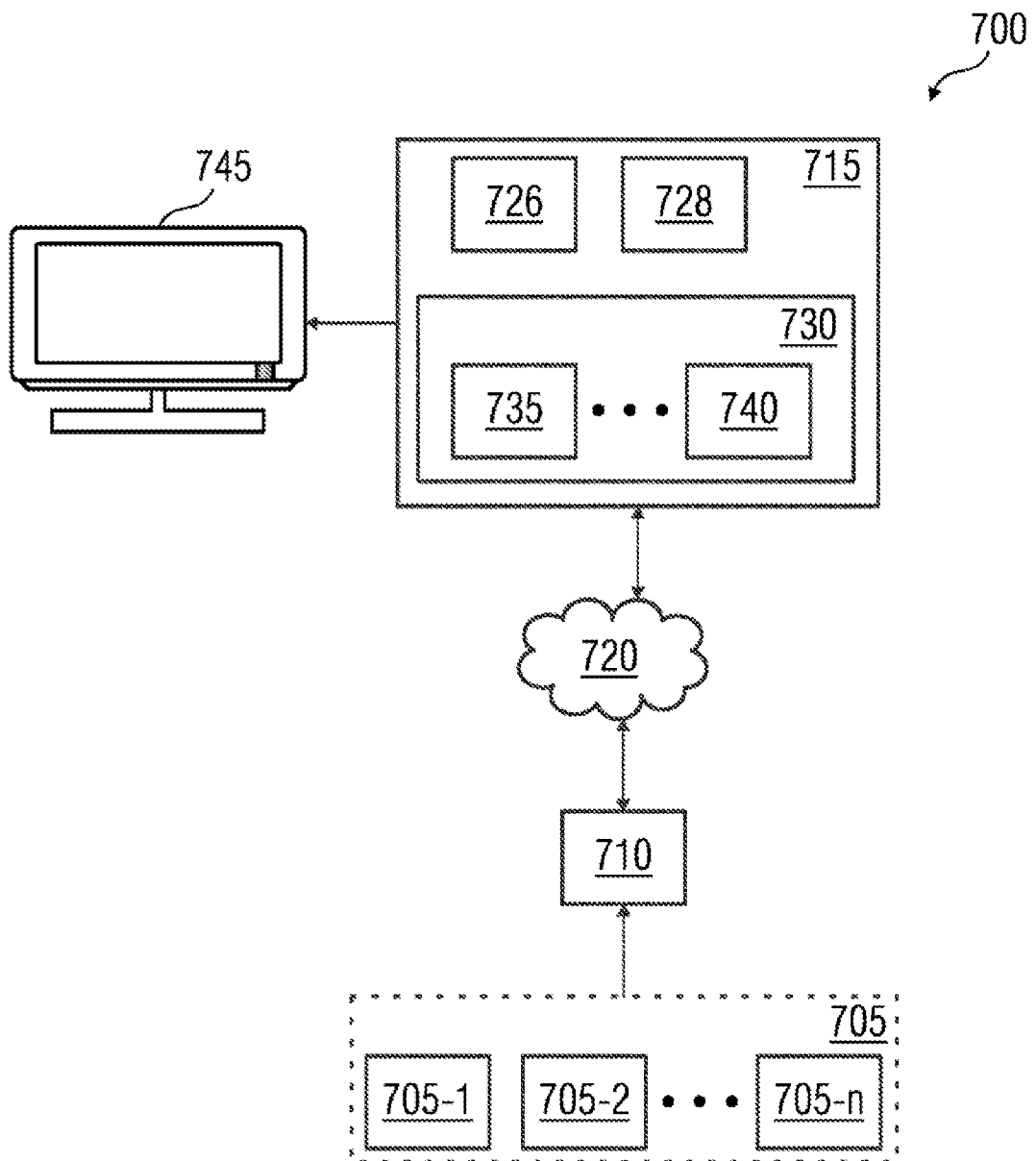


FIG 8

