

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 037**

51 Int. Cl.:

G01N 27/90 (2006.01)

G01M 13/02 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.01.2013 PCT/GB2013/050030**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.07.2013 WO13104900**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2013 E 13700784 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2020 EP 2802865**

54 Título: **Monitorización de componentes de motor**

30 Prioridad:

09.01.2012 GB 201200253

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

02.02.2021

73 Titular/es:

**OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED
(100.0%)
Buxton Court, 3 West Way, Botley
Oxford OX2 0JB, GB**

72 Inventor/es:

CHANA, KAMALJIT SINGH

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 804 037 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

Monitorización de componentes de motor

5 La presente invención hace referencia a la monitorización de componentes de motor, en particular a la monitorización de la salud de los componentes giratorios de un motor, tales como engranajes y también rotores, ejes e incluso cuchillas.

10 El objetivo de los sistemas de monitorización de motores es mejorar la eficiencia operativa y de mantenimiento reduciendo o eliminando los fallos de componentes y los tiempos de inactividad no programados. Monitorizar la salud de una caja de cambios es una cuestión crítica para numerosas aplicaciones. Por ejemplo, en la industria de la energía eólica, aunque la tasa de fallos de la caja de cambios es menor que la de algunos de los otros componentes de la turbina eólica, los tiempos de inactividad en los que puede resultar son mayores. La reparación y/o el reemplazo de una caja de cambios en una turbina eólica en alta mar pueden precisar bastante tiempo. El coste de dichos períodos de inactividad, junto con el coste de las reparaciones o las piezas de reemplazo, hacen que la mejora de la monitorización de las cajas de cambio sea un objetivo importante para las turbinas eólicas y otras aplicaciones. Por ejemplo, los fallos en la caja de cambio o en el rotor pueden ser un riesgo para los helicópteros, que precisan una monitorización minuciosa. Otras aplicaciones de la monitorización de cajas de cambio incluyen a la industria automotriz, especialmente en lo que se refiere a los coches de carreras de la Fórmula 1.

20 Los sensores de las cajas de cambio actuales diagnostican su condición utilizando mediciones de, por ejemplo, el aceite de lubricación, las vibraciones anormales, o las emisiones acústicas de la caja de cambio. Para cada tipo de medida, se pueden considerar muchos parámetros diferentes y se pueden utilizar muchas tecnologías distintas para intentar de proporcionar datos fiables. Por ejemplo, el aceite de lubricación puede ser analizado para conocer el nivel de contenido de agua, la acidez, la temperatura o la viscosidad. Además, es posible también analizar la cantidad, el tamaño o la composición de las partículas metálicas o de otros restos de dentro del aceite, pues dichas partículas pueden proporcionar una indicación del desgaste del componente, por ejemplo, debido a la existencia de picaduras en las superficies de los engranajes involucrados. Las técnicas ex-situ no suelen detectar defectos o desgaste hasta que es demasiado tarde y los engranajes ya están a punto de fallar. El mantenimiento preventivo, por lo tanto, no puede programarse por adelantado.

35 En la práctica, para que sean útiles para monitorizar la salud de los engranajes, las tecnologías deben ser adecuadas en términos de tamaño, costes, precisión y fiabilidad. Además, los parámetros medidos deberían poder avisar con suficiente antelación de los fallos del equipo para permitir el pedido de las piezas de recambio y la programación de los tiempos de inactividad por adelantado. La monitorización de engranajes durante su servicio, en particular de la salud de los piñones de los engranajes, es difícil debido al ambiente operativo y a la naturaleza engranable de los dientes. Los sensores ópticos e incluso los capacitivos sufren de la contaminación del aceite, lo cual hace que no sean fiables. Las sondas ópticas, en particular, son vulnerables a la contaminación y no funcionarán si el transmisor o el receptor de luz queda oscurecido. Otros sensores que dependen de la reflexión de una señal, como un radar o un sonar, presentan problemas similares y tampoco pueden proporcionar un grado de resolución suficiente como para detectar pequeños defectos de superficie, como grietas y picaduras. Los sensores de vibración o de emisiones acústicas se vuelven insensibles por las vibraciones de fondo del motor. Además, los métodos de vibración y emisión acústica para la monitorización de cajas de cambio dependen en gran medida del análisis de datos estadísticos (procesamiento de señales en el dominio de frecuencia y tiempo) – un proceso mayormente manual que requiere tiempo y es caro.

45 Todas las técnicas existentes para la monitorización de la salud de cajas de cambios cuentan con la desventaja de que tan solo pueden detectar los daños una vez que los fallos son inminentes. El establecimiento de un régimen de mantenimiento eficaz requiere un alto grado de certidumbre por parte de un sistema de monitorización si su instalación se lleva a cabo para reducir los períodos de inactividad.

50 El monitoreo de cajas de cambio en particular carece de tecnología de sensores que permitan detectar con éxito los daños en los dientes y los fallos en los ejes de altas y bajas velocidades, antes de que se produzca el fallo. La medida de la vibración y el análisis de espectro elegidos normalmente para la monitorización de cajas de cambio no permiten detectar la aparición de defectos en la superficie o cerca de la superficie. Las firmas de vibración miden o bien el movimiento de la caja de cambio o bien el desplazamiento de los ejes en sus rodamientos. Los sensores utilizados son normalmente acelerómetros sobre la carcasa y sondas de proximidad dentro de la caja de cambios. Las vibraciones en la carcasa contienen grandes cantidades de información sobre la condición de la caja de cambios y algunos fallos, por ejemplo, la desalineación puede detectarse comparando las firmas a lo largo de un período de tiempo. Sin embargo, muchos fallos se producen inicialmente a altas frecuencias y con frecuencia están enmascarados por el ruido de fondo, al que no son sensibles las mediciones de desplazamiento relativas. Esto hace que sea difícil detectar defectos de desgaste como micro o macro picaduras en los dientes del engranaje.

65 El documento US 5,670,879 describe un método para detectar grietas en el separador de aire de un motor de turbina de combustión utilizando señales de corrientes de Eddy por parte de un operador de ingeniería no destructiva. El

documento US 5,442,285 describe un método para detectar grietas en los miembros giratorios de motores de turbinas de combustión identificando una frecuencia característica en sensores de señales de corrientes de Eddy.

5 La presente invención busca proporcionar formas nuevas y mejoradas para monitorizar la salud de los componentes del motor, como puedan ser las cajas de cambio.

10 Se presenta en el presente documento, con propósitos de referencia, un aparato para monitorizar defectos en la superficie o cerca de la superficie en un componente de motor giratorio, comprendiendo uno o más sensores inductivos transportados por un miembro móvil dispuesto para pasar el o los sensores a través de una porción de la superficie del componente giratorio del motor durante el movimiento correspondiente del mismo. Preferiblemente, el o los sensores inductivos son sensores de corrientes de Eddy que son accionados por corriente alterna en una frecuencia que se sitúa en el rango de entre 400 kHz y 10 MHz, aún más preferiblemente en el rango de entre 1 y 2 MHz.

15 Al combinar un sensor con un miembro móvil es posible escanear el sensor a lo largo de la superficie del componente del motor, de manera que el sensor puede detectar cambios locales en la superficie (o cerca de la superficie) antes de que las grietas se formen y se alcance un nivel que pueda resultar en un fallo catastrófico. Al utilizar sensores de corrientes de Eddy accionados por corriente alterna a altas frecuencias, el campo magnético queda limitado para sondear la superficie o la zona cercana a la superficie del componente giratorio, por ejemplo, a profundidades de hasta 25 mm. El o los sensores proporcionan una caracterización directa de la condición de la superficie del componente y pueden utilizarse de manera individual o de manera combinada con otras tecnologías de detección para mejorar la monitorización del motor, por ejemplo, en la monitorización de cajas de cambios y/o ejes de rotor en aplicaciones como son las turbinas eólicas o los helicópteros. La monitorización tiene lugar durante el funcionamiento del motor, mientras gira el componente, y, por lo tanto, proporciona una comprobación de estado dinámica.

25 Dada la naturaleza inductiva del o de los sensores no es necesario contacto físico con el componente de motor giratorio y se puede evitar la carga adicional, mientras que la contaminación con aceite y/o polvo no supone un problema. Un sensor inductivo detecta cambios en el campo magnético que pasan por o son generados por el componente del motor que puedan ser indicativos de la formación de defectos de la superficie o cercanos a la superficie, como puedan ser grietas o picaduras, especialmente cuando un sensor de corrientes de Eddy es alimentado con corriente alterna a una frecuencia relativamente alta. Cualquier componente de motor que comprenda una porción eléctricamente conductiva puede ser monitorizado por un sensor inductivo. Entre los componentes metálicos de interés pueden encontrarse ejes y engranajes.

35 El o los sensores inductivos pueden utilizar cualquier tipo de sensor de campo magnético, como un sensor de estado sólido o una bobina. El o los sensores inductivos pueden comprender uno o más sensores de estado sólido, por ejemplo, sensores de efecto Hall para detectar cambios en la superficie en un componente ferromagnético, por ejemplo, un componente de motor con contenido de hierro. Si bien se puede utilizar un sensor de proximidad del tipo inductivo para detectar defectos en la superficie, es un objetivo de la presente invención poder detectar con precisión defectos a pequeña escala como la pérdida de metal en etapas tempranas por la corrosión o la erosión (por ejemplo, en macro o micro picaduras). Ello requiere un sensor inductivo con sensibilidad a altas frecuencias. Es también deseable poder monitorizar los componentes no ferrosos. El o los sensores inductivos comprenden preferiblemente uno o más sensores de corrientes Eddy. Al detectar el campo magnético secundario generado por las corrientes Eddy inducidas, es una ventaja que dichos sensores puedan detectar con precisión defectos en y por debajo de la superficie de un material conductor del componente de motor. Cualquier componente de motor metálico, o incluso no metálico, por ejemplo, un componente de plástico con una capa conductora, puede ser monitorizado para localizar defectos de la superficie utilizando un sensor de corrientes Eddy.

50 Preferiblemente, el sensor de corrientes Eddy es un sensor alimentado por corriente alterna (de tipo activo) de manera que la frecuencia de la señal de alimentación de corriente alterna pueda ajustarse. Más preferiblemente, el sensor de corrientes Eddy está alimentado por una excitación de corriente alterna de alta frecuencia para reducir la profundidad de penetración en el componente giratorio que se está monitorizando y, por tanto, permitir una detección precisa de defectos de la superficie como macro y micro picaduras y grietas en la superficie. El sensor de corrientes Eddy puede ser alimentado a una frecuencia en el rango de entre 400 kHz y 10 MHz, preferiblemente de entre al menos 1 MHz y 10 MHz, y típicamente en el rango de entre 1 y 2 MHz.

55 El uso de un sensor de corrientes Eddy alimentado por corriente alterna a frecuencias relativamente altas, por ejemplo, de al menos 500 kHz y preferiblemente de al menos 1 MHz cuenta con la ventaja de que el daño en la superficie, como son la raspadura, la rozadura, la macro picadura y la micro picadura, el brinelling y el desconchamiento puede detectarse de manera efectiva. Dichos defectos de la superficie aparecen como resultado del desgaste. El desgaste es un tipo de fallo que puede afectar a los sistemas de transmisión mecánica a cualquier velocidad. El desgaste está causado por la eliminación de material de una superficie, por ejemplo, un diente de engranaje, debido al deslizamiento de los componentes adyacentes y a las altas tensiones en el área de contacto existente entre los componentes. Una lubricación insuficiente puede acelerar la acumulación de desgaste. En las cajas de cambios, el desgaste ocurre generalmente en los dientes ya que estas áreas son las más expuestas a tensión y abrasión. El problema conocido como root cracking puede ser un problema significativo en engranajes aeroespaciales.

Un sensor inductivo proporciona una señal de salida (por ejemplo, voltaje) que es proporcional en amplitud a la distancia existente entre el sensor y la superficie que se está monitorizando. Si la superficie está desgastada, los cambios en la distancia de separación local pueden detectarse como cambios en la amplitud de señal, al menos cuando se acciona el sensor a frecuencias lo suficientemente altas como para que sea sensible a los cambios de la superficie. Por ejemplo, en el documento SU-805097 se contempla medir los cambios que se dan en el espacio existente entre un sensor inductivo y un diente añadido a una rueda dentada para determinar la cantidad de desgaste en las superficies de trabajo. Específicamente, el documento SU-805097 describe un procedimiento de prueba para evaluar la transmisión de un tren de engranaje teniendo en cuenta el desgaste de los dientes de los engranajes operativos. Un transductor inductivo sin contacto se instala en un diente de un engranaje de trabajo y en un engranaje de trabajo acoplado se instala un diente ferromagnético. El sensor inductivo se utiliza para detectar el espacio existente entre el sensor y la superficie del diente ferromagnético, donde el espacio es indicativo del desgaste del diente. Sin embargo, los cambios en la amplitud de la señal también pueden derivarse de cambios de masa en la distancia de separación entre el miembro móvil que lleva el sensor y el componente de motor giratorio. Si, por ejemplo, el componente de motor giratorio queda mal alineado, por ejemplo, debido a fallos en los rodamientos, ello podría ser detectado como un cambio de amplitud. Las realizaciones de la invención, tal y como se describen más abajo, pueden, por tanto, ser útiles para monitorizar la desalineación de la masa, así como para monitorizar los defectos de la superficie o cercanos a la superficie.

El Solicitante se ha percatado de que una aplicación particularmente importante de la presente invención, tal y como se define a continuación, puede ser la de detectar defectos locales en un componente de motor giratorio antes de que deriven en desgaste de la superficie o en un problema mayor. Es también importante poder distinguir el desgaste de la superficie de la desalineación de un componente de motor. Los sensores inductivos estáticos pueden disponerse en una posición cercana con respecto a los engranajes de una caja de cambios, por ejemplo, para monitorizar la desalineación. Una ventaja particular de utilizar un miembro móvil para llevar uno o más sensores inductivos es que el o los sensores pueden estar dispuestos para pasar a través de la superficie del componente de motor giratorio y, por tanto, están posicionados para interactuar con cualquier defecto local del componente. Para detectar defectos locales como grietas, brinelling, desconchamiento, micro picaduras o macro picaduras, es decir, donde se ha producido la eliminación de material en lugar de un cambio de masa en la posición de la superficie, el aparato utiliza uno o varios sensores de corrientes Eddy y un procesador para detectar un cambio en la forma de la señal inductiva. El cambio en la forma de la señal puede detectarse además de, o en lugar de, un cambio en la amplitud, tal y como se ha discutido previamente.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método para monitorizar defectos locales en uno o varios engranajes de transmisión en una caja de cambios durante el servicio, que comprende:

disponer uno o varios sensores de corrientes Eddy para que interactúen con del o de los engranajes de transmisión con forme giran en una caja de cambios durante el servicio, en donde el uno o los varios sensores de corrientes Eddy son transportados por un engranaje de monitorización o parte de un engranaje de monitorización que tiene una forma adecuada para engancharse a los engranajes de transmisión a monitorizar para pasar el o los sensores a través de una porción de una superficie del o de los engranajes de transmisión durante el movimiento relativo entre los mismos;

medir una señal de salida procedente del o de los sensores de corrientes Eddy resultante de la interacción con del o de los engranajes de transmisión; y

detectar un cambio en la forma de la señal que sea indicativo de un defecto local. La invención se extiende a un aparato para monitorizar defectos locales en uno o varios engranajes de transmisión en una caja de cambios durante el servicio, comprendiendo el aparato:

el uno o los varios engranajes de transmisión;

un engranaje de monitorización o parte de un engranaje de monitorización que lleva uno o varios sensores de corrientes Eddy dispuestos para interactuar con del o de los engranajes de transmisión a monitorizar para pasar el o los sensores a través de una porción de una superficie del o de los engranajes de transmisión durante el movimiento relativo entre los mismos,

un dispositivo dispuesto para medir una señal de salida procedente del o de los sensores de corrientes Eddy resultante de la interacción con del o de los engranajes de transmisión, y un procesador dispuesto para detectar un cambio en la forma de la señal de salida indicativo de un defecto local.

Debe apreciarse que un cambio en la forma de la señal de salida es independiente de cualquier cambio de masa en la amplitud de señal y que los dos efectos pueden distinguirse utilizando técnicas de procesamiento de señales estándar. Por ejemplo, MATLAB, de MathWorks, incluye herramientas para el análisis de señales que pueden detectar cambios en la forma en comparación con un conjunto inicial de señales de datos. Cuando un sensor de corrientes Eddy interactúa con un componente libre de defectos, las corrientes Eddy inducidas en el material son circulares

debido a la simetría circular del campo producido por la bobina del sensor. El componente tangencial del campo creado por las corrientes Eddy es cero en la ubicación del sensor. Ante la presencia de defectos locales, por otra parte, las corrientes Eddy dejan de ser simétricas, y el sensor proporciona una señal de salida que tiene un cambio en la forma debido a las perturbaciones de las corrientes de Eddy causadas por la falla. La figura 1 ilustra algunos ejemplos de cómo los defectos locales, como las grietas, resultan en un cambio de forma de la señal de salida de un sensor de corrientes Eddy.

Los sensores de corrientes Eddy son también ideales para monitorizar defectos locales en un componente de motor giratorio debido a su tolerancia a un ambiente sucio y lleno de aceite. Dicha monitorización no podría ser posible con, por ejemplo, sensores ópticos o capacitivos por la contaminación del aceite. Además, los sensores de corrientes Eddy se fabrican en tamaño pequeño para aumentar su resolución, lo cual significa que pueden instalarse fácilmente en un motor en funcionamiento para llevar a cabo la monitorización durante el servicio de un componente de motor. Tal monitorización puede llevarse a cabo además de técnicas existentes como la medición de vibraciones o la monitorización de contaminación por aceite. Los resultados de monitorizar los defectos locales pueden ser ventajosamente integrados en la tecnología convencional para mejorar el diagnóstico general de las condiciones del motor y para permitir la programación de períodos de inactividad del sistema para su mantenimiento.

Al detectar un cambio en la forma de la señal de salida es posible detectar defectos locales como poros, grietas, picaduras, arañazos, áreas con desgaste, etc. Los fallos pueden, por tanto, ser identificados de manera temprana y el mantenimiento programarse antes de que el componente sufra daños. Nunca se ha propuesto antes llevar a cabo tales tipos de ensayos utilizando sensores de corrientes Eddy durante el servicio de un componente de motor giratorio. Una ventaja adicional del uso de sensores de corrientes Eddy para la monitorización durante el servicio es que la señal de salida puede utilizarse para detectar múltiples parámetros diferentes de importancia en lo que a la salud del motor se refiere. Además de monitorizar defectos locales, el método preferiblemente comprende además la detección de un cambio en la amplitud de la señal de salida. Los cambios en la amplitud pueden utilizarse para indicar cambios en el perfil de la superficie y/o cambios en la posición del o de los engranajes de transmisión en lugar de perturbaciones locales del campo secundario. Dichos cambios pueden producirse, por ejemplo, por desalineación, incluyendo desalineación paralela (radial o axial) y desalineación angular (desviación lateral y elevación), o por fallos de los rodamientos, vibraciones indeseadas, cargas inesperadas o sobrecarga, desequilibrio de los ejes, efectos de temperatura, y/o defectos de fabricación (por ejemplo, concetricidad y descentramiento radial). De hecho, la forma general y la amplitud de la señal de salida puede ser sumamente útil para el diagnóstico del tipo del defecto y de la ubicación el desgaste derivado del fallo del motor. Además, el método puede utilizarse no solo para detectar los propios defectos locales, sino también para monitorizar factores tales como la desalineación que puede causar el desarrollo de defectos.

Es un beneficio de la invención que del o de los engranajes de transmisión pueden ser monitorizados a lo largo de su vida útil y los cambios en la forma, y preferiblemente también en la amplitud, de la señal de salida del o de los sensores de corrientes Eddy pueden permitir detectar los defectos y ubicarlos antes de que se produzca un fallo. El método preferiblemente comprende además la medición de una señal de salida de datos procedente del o de los sensores de corrientes Eddy cuando del o de los engranajes de transmisión son instalados inicialmente, y la detección de un cambio en la forma de la señal de salida en comparación con la señal de salida de datos. Una ventaja de detectar cualquier cambio de amplitud (por ejemplo, debido al movimiento radial de un eje que lleva del o de los engranajes de transmisión debido al desgaste de los cojinetes, etc.) es que puede utilizarse para normalizar la señal de salida de datos y, a continuación, cualquier cambio en la forma puede detectarse con mayor facilidad. La comparación a largo plazo de las señales de salida con la medida de los datos puede permitir predecir la salud del motor de manera que el mantenimiento puede programarse con antelación.

Los sensores de corrientes Eddy pueden tener una amplia respuesta de frecuencia, desde la corriente continua hasta el rango de megahercios. De acuerdo con un conjunto de realizaciones, el método puede comprender accionar el o los sensores de corrientes Eddy a una frecuencia de corriente continua. Los sistemas de transmisión mecánica como las cajas de cambio pueden fallar debido a la fatiga causada por una carga excesiva, lo cual deriva en defectos que penetran mucho más profundo que la superficie. La fatiga se causa por ciclos repetidos de cargas que se encuentran dentro del límite elástico del material de un componente, resultando en el daño progresivo en un área localizada que experimenta la mayor tensión. Los fallos de fatiga ocurren en tres fases: inicio de la grieta, propagación y fractura completa. Dichas grietas de fatiga pueden resultar en fallos rápidos de un componente giratorio. Las grietas locales en la raíz o en la superficie de los dientes de una rueda dentada son fácilmente detectados por un sensor de corrientes Eddy en cuanto se forman y, por tanto, se puede programar el mantenimiento antes de que se permita la ocurrencia de un fallo grave. Un sensor de corrientes Eddy accionado por corriente continua puede utilizarse durante la monitorización de errores más profundos como grietas. Para detectar grietas profundas, puede ser preferible utilizar un sensor con una bobina de mayor diámetro para incrementar la penetración de las corrientes de Eddy en el componente que se está monitorizando.

De acuerdo con otro conjunto de realizaciones, el método puede comprender alimentar el o los sensores de corrientes Eddy con una frecuencia de corriente alterna elegida de entre una o más de las siguientes: (i) al menos 1 kHz; (ii) al menos 100 kHz; (iii) al menos 500 kHz; (iv) al menos 1 MHz; (v) al menos 2 MHz; y (vi) de hasta 10 MHz. La profundidad de penetración de las corrientes Eddy inducidas por un sensor está relacionada con la frecuencia de

acuerdo con $1/\sqrt{(\sigma\mu_0\mu_r f)}$, donde δ = profundidad de penetración, σ = conductividad eléctrica del material del o de los engranajes de transmisión monitorizados, μ_0 = permeabilidad absoluta, μ_r = permeabilidad relativa, y f = frecuencia. Es posible probar diferentes profundidades de un componente de interés cambiando la frecuencia. El Solicitante ha reconocido que la frecuencia utilizada para alimentar el o los sensores de corrientes Eddy pueden seleccionarse o ajustarse para detectar diferentes tipos de defectos locales, por ejemplo, una frecuencia más baja para los defectos profundos y una frecuencia más alta para los defectos de la superficie. Es, por tanto, preferible que el método comprenda además el ajuste de la frecuencia a la que se alimenta el o los sensores de corrientes Eddy, por ejemplo, para monitorizar diferentes defectos locales y/o para investigar la profundidad de los defectos.

5
10
15
20
25

Los materiales no ferromagnéticos tienen unos valores de permeabilidad absoluta y relativa de 1. La profundidad de penetración puede, por tanto, ajustarse en gran medida cambiando la frecuencia. Los materiales ferromagnéticos, por otra parte, tienen valores de permeabilidad absoluta y relativa mucho mayores que 1. Aunque la frecuencia de accionamiento puede todavía ajustarse para cambiar la profundidad de penetración, el método es más sensible a los defectos de la superficie o cercanos a la superficie en los materiales de acero al carbono utilizados normalmente en los componentes de motor giratorios, es decir, el "efecto pelicular". Como se ha mencionado más arriba, una ventaja de utilizar un sensor de corrientes Eddy accionado por corriente alterna que comprende una bobina que es accionada a frecuencias relativamente altas, preferiblemente de al menos 500 kHz y aún más preferiblemente de al menos 1 MHz, es que el daño de superficie, como la raspadura, la rozadura, la micro picadura y la macro picadura, el brinelling y el desconchado puede detectarse con eficacia. Una ventaja más de accionar el o los sensores de corrientes de Eddy a frecuencias más altas, por ejemplo, de al menos 1 MHz, es que los cambios en la amplitud de la señal de salida pueden atribuirse a cambios locales en la superficie del componente debido al desgaste en lugar de a la desalineación de masa en el motor. En los casos en los que el o los engranajes de transmisión cuentan con múltiples superficies cercanas entre sí que deben medirse, por ejemplo, las superficies de los dientes de una rueda dentada, una alta frecuencia de accionamiento también puede garantizar que los campos secundarios no penetren lo con la suficiente profundidad como para interactuar de una superficie a la otra.

30

Por las razones ya señaladas más arriba, el procesador está preferiblemente dispuesto para detectar un cambio en la amplitud de la señal de salida. Los cambios producidos en la forma y en la amplitud de la señal de salida pueden, por tanto, ser detectados. Preferiblemente, el dispositivo está dispuesto para medir una señal de salida de datos procedente del o de los sensores de corrientes Eddy cuando del o de los engranajes de transmisión son instalados inicialmente, y el procesador está dispuesto para detectar cambios en la forma (y opcionalmente en la amplitud) de la señal de salida haciendo una comparación con la señal de salida de datos.

35
40

En un conjunto de realizaciones, el aparato comprende preferiblemente una unidad de accionamiento dispuesta para accionar el o los sensores de corrientes Eddy a una frecuencia de corriente continua. En otro conjunto de realizaciones, el método comprende preferiblemente una unidad de accionamiento dispuesta para accionar el o los sensores de corrientes Eddy a una frecuencia de corriente alterna elegida de entre una o más de las siguientes: (i) al menos 1 kHz; (ii) al menos 100 kHz; (iii) al menos 500 kHz; (iv) al menos 1 MHz; (v) al menos 2 MHz; y (vi) de hasta 10 MHz. La unidad de accionamiento puede estar dispuesta para ajustar la frecuencia a la que el o los sensores de corrientes Eddy son accionados, por ejemplo, para monitorizar diferentes defectos locales y/o para investigar la profundidad de los defectos.

45
50

Los sensores de corrientes Eddy de varias formas son conocidos por su papel en las pruebas ex-situ de componentes de motor elaborados de materiales conductivos, por ejemplo, metálicos o recubiertos de metal. En un conjunto de realizaciones, el sensor de corrientes Eddy puede ser del tipo pasivo, por ejemplo, donde el campo magnético primario se genera por parte de un imán permanente y sus variaciones causadas por las corrientes Eddy en el componente conductivo son detectadas por una bobina asociada. En otro conjunto de realizaciones, el sensor de corrientes Eddy puede ser del tipo activo, accionado por corriente alterna o corriente continua, por ejemplo, donde el campo magnético primario se genera por parte de uno o varias bobinas portadoras de corriente y los campos secundarios producidos por las corrientes Eddy resultantes en el componente conductivo son detectadas por la misma o una bobina o varias bobinas diferentes. Preferiblemente, el sensor de corrientes Eddy es del tipo activo con la misma bobina utilizada tanto para generar el campo magnético primario como para detectar el campo magnético secundario, de manera que el sensor es compacto y ligero.

55
60
65

Se ha reconocido que conseguir una buena resolución con un sensor de corrientes Eddy requiere una región de flujo magnético definido de manera estricta. La región de flujo magnético es de mayor tamaño que el diámetro de la bobina de manera que una alta resolución requiere una bobina pequeña. Sin embargo, el tamaño de la bobina también determina el rango del sensor, con un sensor de corrientes Eddy normal teniendo un rango que es aproximadamente la mitad del diámetro de la bobina. Es una ventaja de varias realizaciones de la presente invención que el sensor es transportado por un engranaje de monitorización o parte de un engranaje de monitorización que puede moverse hasta una posición cercana a la superficie del o de los engranajes de transmisión que se están monitorizando, de manera que el rango del sensor no necesita ser grande y puede proporcionar una buena resolución para detectar defectos de superficie (y cercanos a la superficie) pequeños, como son las grietas y las picaduras. Además, el engranaje de monitorización o la parte del engranaje de monitorización pueden utilizarse para atravesar el sensor a través de al menos una porción del o de los engranajes de transmisión, de manera que el rango efectivo del sensor se ve incrementado.

Para mejorar la resolución del sensor de corrientes Eddy, el sensor comprende preferiblemente una bobina común para su uso en la generación de un campo magnético primario y en la detección del efecto de las corrientes Eddy generadas por el campo magnético primario del o de los engranajes de transmisión que se están monitorizando, en donde la bobina es alargada en sección. Cuando la bobina del sensor se enrolla en un formador de sección alargada, por ejemplo, rectangular o elíptica, el rango del sensor es equivalente al del que tiene una bobina circular con el mismo número de devanados y un diámetro igual a la dimensión alargada de la bobina, pero su resolución está mejorada en lo que respecta a la detección de características alargadas, como grietas, que son generalmente alineadas con la dimensión alargada del sensor. Para mejorar la detección de grietas y otros defectos que pueden extenderse en diferentes direcciones a lo largo de la superficie, el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede llevar múltiples sensores alargados con al menos un par de sensores alargados dispuestos de manera sustancialmente perpendicular entre sí mismos.

El engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede llevar un solo sensor, por ejemplo, con forma y/o con dimensiones como para emparejarse con una porción del o de los engranajes de transmisión que se están monitorizando. Sin embargo, la resolución puede mejorarse proporcionando múltiples sensores más pequeños en lugar de un solo sensor. El engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede llevar una disposición de dos, tres, cuatro, cinco, seis o cualquier número de sensores en un conjunto. El conjunto puede disponerse como para escanear a través de una porción representativa del o de los engranajes de transmisión, por ejemplo, a través de su ancho, con alta resolución. Los sensores de un conjunto pueden tener una o varias orientaciones diferentes para mejorar la eficiencia de detección de defectos en direcciones diferentes.

El o los sensores pueden estar colocados en la superficie del engranaje de monitorización o en la parte de un engranaje de monitorización para maximizar la sensibilidad del o de los sensores. Sin embargo, en un conjunto de realizaciones preferidas, el sensor (o un conjunto de múltiples sensores) está montado debajo de la superficie del engranaje de monitorización o de la parte de un engranaje de monitorización para quedar protegido frente al entorno externo. En los casos en los que el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización entre en contacto físico con el o los engranajes de transmisión que se están monitorizando, ello puede proteger el o los sensores frente al desgaste. Teniendo en cuenta que la salida de un sensor inductivo depende en parte de la distancia existente entre el componente giratorio que se está monitorizando y la bobina de detección, cada sensor – o al menos su o sus bobinas – está provisto, preferiblemente, dentro del engranaje de monitorización o de la parte de un engranaje de monitorización, pero aun así en una posición cercana a la superficie puesta dentro del rango del o de los engranajes de transmisión. Preferiblemente, el o los sensores están integrados en el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización. Los campos magnéticos generados por un sensor inductivo, como un sensor de corrientes Eddy, son capaces de penetrar en el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización, dado que no está predominantemente compuesto de material ferromagnético. Un miembro de metal elaborado de aluminio o cualquier aluminio no ferroso puede utilizarse. Preferiblemente, el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización, o al menos la parte del mismo que rodea al o a los sensores, está elaborado de un material no conductor para evitar la atenuación de señal. Se puede utilizar un polímero adecuado.

La velocidad de movimiento del engranaje de monitorización o de la parte de un engranaje de monitorización en relación con del o de los engranajes de transmisión puede seleccionarse para lograr una tasa de escaneo de superficie deseada. Es una ventaja particular de la invención el hecho de que la velocidad del engranaje de monitorización o de la parte de un dispositivo de monitorización permite que la tasa de escaneo del sensor sea controlada, mientras que un sensor estacionario que monitoriza la superficie de un componente rotatorio está obligado a escanear a través de la superficie a la velocidad de rotación del componente.

El engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede moverse de cualquier forma adecuada para pasar el sensor por una porción seleccionada de la superficie del o de los engranajes de transmisión. En algunas realizaciones, el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede estar dispuesto para no tener contacto con la superficie del componente que se está monitorizando. Ello ayuda a asegurar que el proceso de monitorización no cause o añada, indebidamente, desgaste a la superficie que se está monitorizando. En otras realizaciones, el dispositivo de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede moverse para entrar en contacto con la superficie que se está monitorizando, provocando que el o los sensores estén en un contacto cercano, si no en contacto físico directo, con la superficie del o de los engranajes de transmisión que se están monitorizando. Ello puede mejorar la sensibilidad de la o las señales del o de los sensores. El o los sensores colocados en el engranaje de monitorización o en la parte de un engranaje de monitorización pueden moverse en una trayectoria complementaria a la superficie del o de los engranajes de transmisión que se están monitorizando. En los casos en los que el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización esté girando, será más fácil poner el o los sensores en un contacto cercano, si no en contacto físico directo, con la superficie del componente monitorizado.

El engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede comprender uno o varios dientes. Si bien el o los sensores pueden ser transportados en el cuerpo principal de un engranaje de monitorización dentado, por ejemplo, para examinar las crestas de dientes de engranaje, se puede lograr un beneficio disponiendo el o los sensores en o sobre un diente o varios dientes que encajan con los dientes del engranaje que se está monitorizando.

De manera ventajosa, ello proporciona un contacto muy íntimo entre el engranaje de monitorización y el engranaje monitorizado, de manera que el o los sensores pueden tener acceso a las varias superficies de los dientes del engranaje. Preferiblemente, el uno o los varios sensores son transportados por uno o más dientes del engranaje de monitorización. La invención se adapta bien a la monitorización del desgaste de los dientes de engranaje porque el engranaje de monitorización permite que el o los sensores atraviesen la superficie de los dientes de engranaje, escaneando las diferentes partes de un diente conforme los engranajes se van enganchando y también obteniendo una señal procedente de cada diente del engranaje monitorizado. Un beneficio particular de llevar el o los sensores en o sobre un engranaje de monitorización es que el cercano contacto entre los dientes de engranaje permite que las superficies internas y las esquinas de los dientes de engranaje sean probadas in situ de una manera que antes no era posible.

Al menos un diente del engranaje de monitorización puede estar provisto de uno o varios sensores. Incluso si un solo diente del engranaje de monitorización lleva el o los sensores, la proporción existente entre el número de dientes del engranaje de monitorización y el número de dientes del engranaje que se está monitorizando puede seleccionarse para asegurar que cada diente del engranaje monitorizado es probado tras un cierto número de revoluciones. Por ejemplo, cuando el engranaje de monitorización presenta una diferencia de un número entero en el número de dientes de engranaje con respecto a la rueda dentada inspeccionada, el o los sensores escanean progresivamente cada diente uno tras otro. Ello cuenta con la ventaja de que una sola señal de sensor (o un conjunto de señales) requiere transmisión, en lugar de que múltiples dientes del engranaje de monitorización estén recopilando señales al mismo tiempo. En función de la relación de engranes, un solo diente detector puede escanear adecuadamente cada diente del engranaje de monitorización con una frecuencia suficiente como para que los cambios con respecto al punto de partida, es decir, la señal de datos a lo largo del tiempo, puedan ser evaluados y utilizados para generar una alerta cuando se detectan las primeras señales de daño. En otras realizaciones, una pluralidad de los dientes del engranaje de monitorización puede llevar cada uno o más sensores para aumentar la frecuencia de las pruebas efectuadas de los dientes del engranaje monitorizado. El o los sensores transportados por diferentes dientes pueden tener cada uno una posición diferente de manera que los diferentes dientes del engranaje de monitorización escaneen diferentes porciones de la superficie del engranaje monitorizado y de sus dientes. Además, o alternativamente, el/los sensores transportados por dientes diferentes pueden tener una o más orientaciones diferentes para poder monitorizar diferentes tipos de defectos.

Como se ha mencionado anteriormente, el o los sensores pueden estar provistos en una matriz para aumentar el rango de detección general. Es posible disponer múltiples sensores en o sobre un diente del engranaje de monitorización para proporcionar una detección precisa a lo largo de las varias superficies del diente de un engranaje monitorizado, incluyendo la superficie superior, la cara, el flanco, la curva de acordamiento y/o la superficie inferior. Por tanto, un diente de un engranaje de monitorización puede llevar uno o más de: un sensor con su campo penetrando la superficie superior, un sensor con su campo penetrando una cara y/o un flanco del diente, y un sensor con su campo penetrando la superficie inferior. Múltiples sensores por diente probablemente facilitarán dicha disposición. Sin embargo, un solo sensor puede ser provisto en o sobre un diente del engranaje de monitorización teniendo un campo multidireccional que monitoriza diferentes superficies del diente. En otras realizaciones, puede ser preferible evitar que un mismo sensor monitorice diferentes superficies de diente y, por tanto, un diente puede tener un sensor dispuesto en sí mismo de manera que su campo penetre una cara, pero no la otra. Por ejemplo, la longitud del sensor puede ser limitada de manera que su campo no pueda penetrar ambas caras del diente. Ello puede ayudar a asegurar que las señales de las diferentes superficies puedan distinguirse entre sí.

De manera similar, en las realizaciones en las que un diente transporta múltiples sensores, por ejemplo, para monitorizar la misma superficie, puede ser preferible mantener un mínimo espacio entre los sensores de manera que sus campos no se superpongan. Por supuesto, se apreciará que el hecho de que el engranaje de monitorización gire y haya un movimiento relativo entre sus dientes y los del engranaje monitorizado significa que el o los sensores cualquier matriz de sensores no necesitará tener un rango que se extienda a lo largo de toda la superficie de un diente. Conforme los dientes del engranaje de monitorización se van enganchando con los dientes de un engranaje monitorizado, el rango de un sensor determinado es escaneado a través de una porción de la superficie. Ello aumenta el rango efectivo del sensor de manera que el número y/o el tamaño de los sensores requeridos pueden minimizarse.

La forma y/o el tamaño de cada sensor pueden estar diseñados o ser elegidos para coincidir con la forma del engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización, especialmente cuando el engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización es un engranaje dentado y el o los sensores son transportados por uno o más dientes. Por ejemplo, un sensor alargado puede ser dispuesto para tener una dimensión alargada que sustancialmente coincida con el ancho de un diente; conforme el engranaje de monitorización se engrana con un engranaje monitorizado, el sensor atravesará la cara y el flanco de cada diente para cubrir con eficacia la superficie lateral total con un solo sensor. Además, la forma del o de los sensores se puede adaptar al o a los engranajes de transmisión monitorizados y disponer para proporcionar un campo magnético que es optimizado para la detección de ciertos defectos esperados o modos de fallo específicos. Por ejemplo, al menos alguno de los sensores puede elegirse para ser relativamente pequeños para escanear una porción de superficie de la que se espera que tenga defectos a pequeña escala, como puedan ser las micro picaduras, que requieren una alta resolución para ser detectados. Al menos algunos de los otros sensores pueden elegirse para ser relativamente grandes para monitorizar macro cambios en la posición de la porción de superficie monitorizada, por ejemplo, debido a desalineaciones o fallos mecánicos en

el motor. En la práctica, un engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede estar diseñado para monitorizar del o de los engranajes de transmisión en cuestión utilizando un número de sensores diferentes, difiriendo los sensores en términos de tamaño, forma y/o posición de montaje, pudiendo también estar montados en orientaciones diferentes.

5 Se ha apreciado que los engranajes operativos de una caja de cambios se diseñan típicamente para sostener cargas sustanciales dado que transmiten la rotación a través de un tren de engranaje y la unión o la integración de un sensor/sensores podría debilitar un engranaje, especialmente los dientes, y también exponer al sensor/a los sensores a cargas que podrían interferir con su funcionamiento. El método y el aparato de la invención, por tanto, utilizan un engranaje de monitorización (o al menos una parte de un engranaje de monitorización) que es un engranaje no operativo, es decir, un engranaje que no acciona ninguna parte del sistema de transmisión, sino que tan solo gira acoplado a uno o más engranajes de transmisión que se están monitorizando. Al proporcionar un engranaje de monitorización dedicado exclusivamente a llevar el sensor/los sensores, los dientes del engranaje de monitorización se enganchan con los dientes del engranaje de transmisión monitorizado, proporcionando un contacto cercano a través de las superficies de los dientes de engranaje, pero sin que se transmitan cargas sustanciales al engranaje de monitorización. Una ventaja más es el hecho de que el engranaje de monitorización puede retirarse o sustituirse, por ejemplo, para reparar o reemplazar el sensor/los sensores, sin influir negativamente en los engranajes de transmisión de una caja de cambios.

20 Preferiblemente, el aparato comprende además un sistema de telemetría de transferencia de datos cableado, o preferiblemente inalámbrico, para transferir las señales de sensor, por ejemplo, desde el marco de referencia móvil de un miembro hasta el marco de referencia estacionario ubicado fuera del aparato. El engranaje de monitorización o la parte de un engranaje de monitorización puede comprender un sistema de procesamiento de señal electrónico, por ejemplo, para llevar a cabo el análisis de la señal local antes de la transferencia de datos. De manera alternativa, los datos de la señal en bruto pueden ser transferidos por el sistema de telemetría a un procesador externo. El sistema de telemetría puede estar conectado a un control y/o unidad de visualización para proporcionar información de monitorización. La información de monitorización puede utilizarse por parte de un operador para determinar cuándo programar el mantenimiento del componente monitorizado. Una unidad de control puede incluso utilizar la información de monitorización para ajustar automáticamente uno o más parámetros relacionados con el funcionamiento del motor.

30 Se apreciará que varias realizaciones de la presente invención pueden proporcionar detección muy fiable y temprana de defectos en uno o más engranajes de transmisión en una caja de cambios. Uno de los componentes más importantes de una turbina de viento es la caja de cambios. Ubicada entre el eje principal y el generador, su función es la de aumentar la velocidad de rotación lenta de las palas del rotor hasta la velocidad de rotación del generador de 1000 o 1500 rpm. La presente invención puede encontrar aplicación particular en la monitorización de cajas de cambios para las turbinas de vientos. Las realizaciones de la presente invención también pueden proporcionar un sistema de advertencias tempranas para los fallos de motores de helicópteros. En un helicóptero, el eje rotor principal está ubicado entre el motor y la caja de cambios del rotor para transmitir la potencia del motor, mientras que una pala del rotor transmite potencia desde la caja de cambios hasta la hélice. Un fallo en cualquiera de los ejes rotores, caja de cambios y/o palas de rotor tiene el mismo efecto que un fallo en el motor, dado que la potencia deja de proporcionarse para hacer rotar a la hélice. Es, por tanto, crítico poder detectar cambios en estos componentes para que se pueda llevar a cabo su mantenimiento antes de que sea posible que se produzca una condición de fallo.

45 Se da a conocer también en el presente documento, tan solo con el propósito de servir como referencia, un método para monitorizar una caja de cambios en una turbina de viento o helicóptero que comprende proporcionar uno o más engranajes de monitorización en la caja de cambios que llevan uno o más sensores inductivos, acoplándose el/los engranaje/engranajes con uno o más engranajes de transmisión a monitorizar para pasar el o los sensores a través de la superficie de los engranajes de transmisión durante su rotación. Preferiblemente, el o los sensores inductivos son sensores de corrientes Eddy, más preferiblemente, con cualquiera de las características ya descritas anteriormente. En particular, el o los sensores de corrientes Eddy pueden estar accionados con corriente alterna a una frecuencia del rango de entre 400 kHz y 10 MHz, preferiblemente en el rango de 1-2 MHz. Dichos métodos están bien adaptados para monitorizar defectos en la superficie o cercanos a la superficie en los engranajes de transmisión.

55 En un ejemplo preferido, el método comprende medir una señal de salida procedente del o de los sensores de corrientes Eddy y detectar un cambio en la forma de la señal de salida indicativo de un defecto local en uno o más engranajes de transmisión. Preferiblemente, el método comprende además detectar un cambio en la amplitud de la señal de salida. Los cambios tanto en la forma como en la amplitud de la señal de salida pueden, por tanto, detectarse para que varios tipos de defectos, y su ubicación, puedan ser monitorizados durante el servicio de un engranaje de transmisión en una caja de cambios.

60 También se da a conocer en el presente documento, tan solo con el propósito de servir como referencia, un método para monitorizar los defectos en la superficie o cercanos a la superficie en un componente de motor giratorio utilizando un miembro móvil que lleva uno o varios sensores inductivos, comprendiendo mover el miembro en relación con el componente giratorio para pasar el o los sensores a través de una porción de la superficie del componente de motor giratorio. Preferiblemente, el o los sensores inductivos son sensores de corrientes Eddy accionados por corriente alterna a una frecuencia situada en el rango de entre 400 kHz y 10 MHz, más preferiblemente de entre 1-2 MHz.

La presente invención, por tanto, se extiende a métodos de pruebas no destructivas llevadas a cabo in situ, mientras un componente de motor, como un engranaje, está rotando. En comparación con los métodos estándar para monitorizar el funcionamiento de un componente utilizando un sensor de proximidad para medir la velocidad rotacional, el o los sensores inductivos no son estacionarios durante la prueba. En lugar de ello, el movimiento de los miembros que llevan el o los sensores garantiza que el o los sensores sean escaneados a través de una porción de la superficie del componente monitorizado. Los cambios en la topografía de la superficie indicativos del desarrollo de defectos, como grietas o picaduras, pueden, por tanto, detectarse. El componente de motor giratorio puede comprender una caja de cambios o ejes giratorios en un motor. Las aplicaciones de un método o un aparato de monitorización de acuerdo con las realizaciones de la presente invención pueden incluir la generación de potencia, por ejemplo, en cajas de cambios de turbinas de viento, en la marina, en el campo aeroespacial, en los helicópteros, en el campo automotriz, por ejemplo, coches de Fórmula 1.

Cualquiera de las características del aparato descritas con anterioridad pueden también proporcionarse como características preferidas de dichos métodos. Además, cualquiera o más de una de las características del aparato pueden tomarse en combinación con una o más de las otras características de acuerdo con las realizaciones de la invención.

Algunas realizaciones preferidas de la presente invención serán ahora descritas, a modo de ejemplo, y haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

-La figura 1a ilustra las corrientes Eddy inducidas por un sensor cilíndrico y su señal de salida para una muestra cuadrada sin ningún defecto local presente, la figura 1b ilustra cómo la señal de salida cambia cuando las corrientes de Eddy son perturbadas por una grieta, la figura 1c ilustra cómo la señal de salida cambia cuando las corrientes de Eddy son perturbadas por dos grietas, y la figura 1d ilustra cómo la señal de salida cambia cuando las corrientes Eddy son perturbadas por una grieta descentrada;

-La figura 2 es un diagrama de bloque esquemático de los principales componentes del sistema de transmisión del motor de una turbina de viento;

-La figura 3 es una vista en perspectiva parcial de un engranaje de monitorización de acuerdo con una realización;

-La figura 4 es una vista en perspectiva parcial de un engranaje de monitorización de acuerdo con otra realización;

-La figura 5 es una vista en perspectiva parcial de un engranaje de monitorización de acuerdo con otra realización más;

-La figura 6 es una vista en perspectiva parcial de un engranaje de monitorización de acuerdo con otra realización más;

-La figura 7 es una vista transversal esquemática de los engranajes engranándose;

-La figura 8 es un diagrama en perspectiva esquemático de una disposición de engranaje de monitorización en una caja de cambios, mostrando un sistema de telemetría de transmisión de datos mostrado para servir como referencia;

-La figura 9 es una visión general del sistema de un aparato de monitorización mostrado para servir como referencia;

-La figura 10 es un diagrama esquemático parcial de una segunda disposición de engranaje de monitorización;

-La figura 11 es un diagrama esquemático parcial de una tercera disposición de engranaje de monitorización mostrado para servir como referencia;

-Las figuras 12a – 12c muestran diferentes diseños de sensor de corrientes Eddy en los dientes de un engranaje de monitorización y las figuras 12d – 12f muestran defectos provocados en una rueda dentada monitorizada;

-Las figuras 13a – 13c muestran las señales de salida medidas o predichas de los sensores de corrientes Eddy de las figuras 12a – 12c;

-La figura 14 muestra la señal de salida del diseño del sensor de corrientes Eddy de la figura 12a cuando se está monitorizando un engranaje con rozaduras en la superficie; y

-La figura 15 muestra la señal de salida del diseño de sensor de corrientes Eddy de la figura 12a al monitorizar la desalineación de engranajes.

5 Algunas realizaciones preferidas se describirán en el contexto de una caja de cambios en un sistema de transmisión de una turbina de viento, por ejemplo, tal y como se muestra en la figura 2. Puede verse que el sistema de transmisión 1 comprende un hub de turbina de viento 2 montado en el eje de rotor principal 4. El hub de la turbina 2 incluye las aspas, las veletas u otras disposiciones giratorias que recogen la energía del viento. Mientras que el eje de rotor 4 se muestra esquemáticamente en posición horizontal, la turbina puede ser del tipo eje horizontal o vertical. Se apreciará que dicho sistema de transmisión podría, en cambio, proporcionarse para una hélice de helicóptero montada sobre un eje de rotor, pero con la energía siendo transmitida en la dirección opuesta.

10 Una caja de cambios 6 convierte la velocidad giratoria lenta del eje de rotor principal 4, por ejemplo, 30 – 40 rpm, en una velocidad de salida adecuada, por ejemplo, de 1000 – 1500 rpm. La caja de cambios 6 puede comprender una o varias fases de engranajes normales y/o engranajes planetarios. La caja de cambios 6 cuenta con un eje de salida 8 que acciona un generador 10. Dentro de la caja de cambios 6, al menos una rueda dentada está provista de sensores inductivos que tienen propósitos de monitorización. El engranaje de monitorización es un engranaje no operativo que no acciona ninguna parte del sistema de transmisión, sino que simplemente gira en conexión con uno o más engranajes de transmisión monitorizados.

15 En las figuras 3 – 6 se muestran algunas realizaciones de un engranaje de monitorización 12. En la figura 3, el engranaje 12 se muestra teniendo sensores alargados 14 que se extienden a través del ancho de los dientes 16. Se proporciona un sensor 14 para la superficie superior 18, otro sensor 14 para la superficie inferior o la raíz 20, y dos sensores para el flanco 22 de cada diente 16. En la figura 4, el engranaje 12' se muestra teniendo sensores relativamente pequeños 14' proporcionados para las varias superficies de los dientes 16. En la figura 5, el engranaje 12'' se muestra teniendo una mezcla de sensores alargados 14 y sensores pequeños 14'. Los sensores alargados 14 son transportados por la superficie superior 18 y por la superficie inferior 20 de cada diente 16, en los casos en los que no sea necesaria una alta resolución. En los flancos 22 de los dientes 16 se proporciona una fila de sensores pequeños 14' a lo largo de la línea primitiva en la que la carga de contacto es máxima y es más posible que se produzcan defectos. Los sensores pequeños 14' proporcionan una mayor resolución de manera que los fallos pueden detectarse temprano en esta región. Los flancos 22 están también provistos de algunos sensores más grandes y rectangulares 14, dispuestos en pares por encima y por debajo de la línea primitiva.

20 Se apreciará que el número de sensores y su disposición en un engranaje de monitorización 12 puede tomar diferentes formas, típicamente adaptadas a los engranajes monitorizados y a la sensibilidad requerida. Si bien se han mostrados múltiples dientes 16 de un engranaje de monitorización 12 provistos con sensores 14, 14', puede ser suficiente instrumentar un solo diente, o solo algunos de los dientes. Ello puede estar dictado por la velocidad de rotación de los engranajes involucrados. También puede ser suficiente proporcionar sensores solo para algunas superficies de los dientes 16. Diferentes dientes 16 pueden estar provistos de sensores para superficies diferentes.

25 La figura 6 muestra otra realización de un engranaje de monitorización 26 que tiene un solo sensor alargado 14 transportado por cada diente 16, o en el flanco existente entre los dientes 16. La posición del sensor alargado 14 es diferente para cada uno de los dientes 16. El engranaje de monitorización 26 puede formarse para tener un número diferente de dientes al del engranaje adyacente 24 monitorizado. Ello significa que cada uno de los dientes 16 se conecta con aquellos del otro engranaje 24 tras un número de revoluciones. Los sensores 14 en las diferentes posiciones garantizan que las varias superficies de los dientes se escaneen secuencialmente sin utilizar un número grande de sensores.

30 Los sensores inductivos pueden ser sensores de corrientes Eddy que comprenden una bobina enrollada alrededor de un formador. La forma del formador, por ejemplo, cilíndrica o rectangular, puede elegirse en función de la forma deseada del sensor. El formador puede proporcionar un núcleo para la bobina que es ferromagnético y aislante. La bobina está conectada a una fuente de alimentación de corriente continua o corriente alterna y tiene una línea de salida para la conexión con una unidad de señal. La bobina puede, generalmente, estar accionada por una señal de corriente alterna a una frecuencia de entre 1 y 2 MHz.

35 La figura 7 es un diagrama transversal de un engranaje conductor 24 engranándose con un engranaje conducido 26. La cinemática del engranado de engranajes involucra tanto contacto por deslizamiento como por rodadura, produciéndose pura rodadura en la línea primitiva indicada por el punto primitivo P. Las cargas alcanzan su máximo conforme el punto de contacto se mueve hacia una posición cercana a la línea primitiva. Un engranaje de monitorización 12 puede llevar uno o más sensores para examinar la superficie de dichos engranajes 24, 26, preferiblemente dispuestos para detectar los errores que se desarrollan típicamente alrededor de la línea primitiva.

40 La figura 8 es un diagrama esquemático de una caja de cambios 6 que contiene un engranaje conductor 24 conectado a un eje de rotor 4 y un engranaje conducido 26 conectado a un eje de salida 8. En la disposición ilustrada, el engranaje conducido 26 es un engranaje de monitorización para el engranaje conductor 24. El engranaje conducido 26 incluye uno o más sensores inductivos 14, que pueden estar dispuestos en varios de los dientes de engranaje 16, tal y como

se ha descrito anteriormente. El engranaje conducido 26 incluye una unidad de señal electrónica 28 conectada a los sensores 14 en los dientes de engranaje 16 e integrada en el eje de salida 8. La unidad de señal 28 puede llevar a cabo el procesamiento de señales y/o la transmisión de datos. Se proporciona una antena 30 para la transferencia de datos de manera inalámbrica. La figura 9 muestra el engranaje conductor 24 y el engranaje conducido 26 llevando un colector 32 para transmitir señales de/desde una unidad de accionamiento de sensor 34 que está conectado a una unidad de almacenamiento/procesamiento de datos 36 y a una unidad de suministro de energía 38.

En una disposición ejemplar alternativa, el engranaje conductor 24 puede estar provisto de uno o más sensores inductivos para actuar como un engranaje de monitorización para el engranaje conducido 26. De hecho, cualquiera o ambos de los engranajes 24, 26 puede tener capacidad de detección, de manera que cada uno de ellos puede monitorizar al otro, o ambos engranajes pueden monitorizarse entre sí. Dichas disposiciones permiten la auto monitorización de una caja de cambios sin necesariamente requerir que se incorporen medios específicos para la monitorización en la caja de cambios.

Un inconveniente potencial de integrar sensores en los engranajes operativos de una caja de cambios, es decir, los engranajes que transmiten torsión, es que los sensores pueden estar expuestos a fuerzas que podrían interferir en su funcionamiento y/o su integridad. La figura 10 es un diagrama esquemático de un tren de engranaje que comprende un engranaje conductor 24 y un engranaje conducido 26. En este sistema, se proporciona un engranaje de monitorización 112 específico para monitorizar el estado del engranaje conductor 24. Otro engranaje de monitorización 112 (mostrado con líneas punteadas) puede proporcionarse opcionalmente para el engranaje conducido 26. En este caso, el o los engranajes de monitorización 112 no transmiten fuerza a través de la caja de cambios y tan solo están dispuestos para rotar libremente, por ejemplo, en un eje montado con cojinetes. Conforme los dientes del engranaje conductor 24 y/o el engranaje conducido 26 se engranan con aquellos del engranaje de monitorización 112, uno o más sensores montados sobre o en el engranaje de monitorización 112 escanean los dientes de los engranajes operativos para detectar defectos en la superficie. Las señales de sensor pueden utilizarse para emitir una advertencia temprana cuando se encuentra que la degradación ha alcanzado unos niveles umbral, de manera que el mantenimiento preventivo puede programarse antes de que el fallo del engranaje ocurra.

La figura 11 muestra otra disposición de tren de engranaje en la que un engranaje conductor 24 transmite la rotación de un eje de rotor principal a un engranaje conducido 26 a través de un piñón loco 32. El piñón loco 32 es un engranaje de transmisión intermedio que no acciona un eje para llevar a cabo ningún trabajo, pero que puede utilizarse para cambiar la dirección de rotación para el eje de salida conectado al engranaje conducido 26. Para propósitos de monitorización, el piñón loco 32 puede estar provisto de uno o más sensores, como uno de los engranajes de monitorización 12, 12', 12" descritos más arriba. El piñón loco 32 puede ser utilizado potencialmente para monitorizar tanto el engranaje conductor 24 como el engranaje conducido 26, con las relaciones de transmisión utilizándose para distinguir las señales recopiladas por los sensores conforme los dientes se engranan en relaciones diferentes. Si no es deseable tener que resolver dos señales de monitorización diferentes de un solo engranaje de monitorización, el piñón loco 32 podría utilizarse para monitorizar el engranaje conducido 26 mientras que otro engranaje de monitorización 112 (mostrado con líneas punteadas) se proporciona para monitorizar el engranaje conductor 24. Por supuesto, la disposición podría ser también la contraria, con el piñón loco 32 principalmente monitorizando el engranaje conductor 24 y un engranaje de monitorización separado (no mostrado) proporcionado potencialmente para el engranaje conducido 26.

Varias disposiciones pueden contemplarse para monitorizar uno o más engranajes en trenes que involucran a dos, tres o más engranajes. En los sistemas de engranajes planetarios, se entenderá fácilmente que puede haber espacio para un engranaje de monitorización alrededor del engranaje central, para monitorizar el engranaje central y/o el o los engranajes planetas. En cualquiera de estos sistemas, una mezcla de engranajes operativos y/o no operativos puede utilizarse con propósitos de monitorización.

Mientras que algunas realizaciones preferidas han sido descritas en el contexto de los engranajes dentados, se apreciará que la invención puede ser de utilidad en la monitorización de varios tipos de engranajes, incluyendo tornillos sin fin y mecanismos piñón-cremallera. El motor podría tomar la forma, por ejemplo, de un motor de combustión interna, un motor de turbina de gas o cualquier turbina generadora de electricidad, incluyendo turbinas de viento y agua.

Ejemplos

Ejemplo 1

Se efectuaron ensayos en banco para evaluar el uso de sensores de corrientes Eddy incorporados para monitorizar engranajes y aplicaciones de detección de daños. Se construyó un equipo de pruebas con una caja de cambios simplificado utilizando dos ejes giratorios para montar un par de engranajes rectos complementarios. Un engranaje conductor primario fue instalado en el eje de salida de un motor. Un engranaje de monitorización secundario fue instalado en un eje conducido que alimentaba un motor eléctrico que actuaba como freno de arrastre magnético, para proporcionar resistencia mecánica al eje conducido. Cada eje fue instalado con encoders ópticos de eje de precisión, que proporcionaban 500 pulsos y 1 pulso por revolución.

El engranaje primario era una rueda dentada de acero con 25 dientes. El engranaje de monitorización secundario era una rueda dentada de plástico de 24 dientes, para permitir un escaneo por rodamiento de todos los 25 dientes del engranaje primario a 25 revoluciones. El engranaje de monitorización secundario tenía sensores de corrientes Eddy con núcleos de ferrita integrados en los dientes. Las figuras 12a – 12c muestran los diferentes sensores de corrientes Eddy en diferentes dientes. En las figuras 12a y 12b, se instala un sensor cilíndrico de 2 mm de diámetro. La figura 12a muestra un sensor de cara con el eje de la bobina perpendicular a la cara del diente. La figura 12b muestra un sensor de raíz con el eje de la bobina alineado con el eje del diente. En la figura 12c se propone la instalación de un sensor alargado (por ejemplo, de una longitud de entre 10 y 15 mm) en una cara del diente. El engranaje de monitorización fue instalado con un interruptor selector que permite que cualquiera de las bobinas sea conectada al anillo de acoplamiento del sensor.

Para establecer un punto de partida, se monitorizó en primer lugar un engranaje primario elaborado de acero sin defectos. Después se montaron varios engranajes primarios diferentes sobre el eje de salida, cada uno de ellos teniendo un defecto mecanizado en al menos uno de los dientes o mostrando de cualquier otra forma señales de daños. Los fallos provocados se muestran en las figuras 12d – 12f debajo de los sensores de los que se esperaba que los detectaran. La figura 12d muestra una sola ranura transversal a través del punto central de la cara del diente, la figura 12e muestra una sola ranura transversal a través de la raíz del diente, y la figura 12f muestra una marca de punzón en un lado de la cara del diente. Las señales de salida de los sensores de corrientes Eddy de las figuras 12a y 12b se midieron y los resultados se muestran en las figuras 13a y 13b encima de los defectos correspondientes. El diseño del sensor de la figura 12c no se ha probado todavía en este equipo, pero el cambio predicho en la señal de salida se muestra en la figura 13c, basado en los datos tomados del sensor alargado en un equipo de prueba diferente. La señal de salida A es para el diente no dañado en comparación con la señal de salida B para el diente con un defecto. Se puede ver de las figuras 13a-13c que los defectos producen cambios de forma diferentes en la señal de salida, que son suficientemente diferentes con respecto a la señal del punto de partida a detectar por los algoritmos de procesamiento de señal.

Los sensores proporcionan una muy buena relación señal/ruido. El diseño del sensor fue optimizado para conseguir la proximidad más cercana a la posición en la que el fallo estaba presente. Las señales resultantes del escaneo y, por tanto, siempre posicionadas prominentemente a la mínima posición (máxima condición de detección) de la salida del sistema. Por supuesto, los defectos en otras posiciones también pueden detectarse, pero el propósito de esta prueba fue el de optimizar las condiciones de detección.

Ejemplo 2

Además de los fallos provocados detectados en el Ejemplo 1, también se probó otro engranaje que había funcionado previamente en un equipo de prueba con una caja de cambio y había acumulado algunos daños por rozamiento en los dientes del engranaje. Un sensor montado en la cara del diente (como se ha visto en la figura 12a) se utilizó para monitorizar el engranaje. La figura 14 muestra las señales del sensor, con la señal de salida A para un engranaje no dañado y la señal de salida B para el engranaje con rozamiento. El gráfico superior muestra la señal del sensor para un grupo de dientes que exhiben señales de daños por rozamiento mientras que el gráfico inferior es una vista cercana de la señal del sensor de un solo diente. En el gráfico superior puede comprobarse que se da una reducción en la amplitud para el engranaje con rozamiento en relación con el que está en buen estado en lo que se refiere a todos los dientes mostrados. Ello se debe a una separación incrementada entre el sensor y la superficie de los dientes conforme las caras sufren el desgaste por rozamiento. En la gráfica inferior puede comprobarse que la señal de salida no solo tiene una reducción en la amplitud, sino también una forma modificada. Ello muestra que el engranaje no está solamente desalineado, sino que también hay una reducción local en la cantidad de material en la superficie del engranaje rozado que provoca que la superficie dañada se deslice a través del sensor con una mayor separación media.

Ejemplo 3

A modo de ejemplo comparativo, se efectuó una prueba de desalineación utilizando el mismo equipo de pruebas con caja de cambio. El engranaje primario se hizo funcionar primero en alineación óptima y luego con una pequeña desviación radial (200 mm) aplicada modificando el posicionamiento radial relativo de las ruedas dentadas. La señal del sensor de corrientes Eddy montado en una cara del diente (tal y como se ve en la figura 12a) fue utilizada para monitorizar el engranaje y los resultados se muestran en la figura 15. La señal de salida A es para el engranaje alineado en comparación con la señal de salida B medida después de la desalineación. Puede verse que hay un cambio de masa en la amplitud conforme la desalineación cambia la separación existente entre los dientes del engranaje primario y el sensor. Sin embargo, no hay cambio en la forma de la señal de salida del sensor. Un problema de desalineación puede, por tanto, distinguirse de los defectos locales como las grietas o las picaduras en el diente del engranaje.

REIVINDICACIONES

1. Un método para monitorizar defectos locales en uno o varios engranajes de transmisión (24) de una caja de cambios durante su servicio, comprendiendo:
- 5 disponer uno o más sensores de corrientes Eddy (14, 14') para interactuar con el o los engranajes de transmisión conforme estos rotan en una caja de cambios durante el servicio, en donde el uno o los varios sensores de corrientes Eddy son transportados por un engranaje de monitorización o una parte de un engranaje de monitorización que tiene una forma como para engranarse con el o los engranajes de transmisión a monitorizar para pasar el sensor a través de una porción de la superficie del o de los engranajes de transmisión durante el movimiento relativo entre ellos;
- 10 medir una señal de salida del o de los sensores de corrientes Eddy (14, 14') resultante de la interacción con el o los engranajes de transmisión (24); y
- 15 detectar un cambio en la forma de la señal de salida que sea indicativo de un defecto local.
2. El método de la reivindicación 1, comprendiendo además la detección de un cambio en la amplitud en la señal de salida.
- 20 3. El método de la reivindicación 1 ó 2, comprendiendo además la medición de una señal de salida de datos del o de los sensores de corrientes de Eddy (14, 14') cuando el o los engranajes de transmisión (24) son instalados inicialmente, y la detección de un cambio en la forma (y opcionalmente en la amplitud) de la señal de salida en comparación con la señal de salida de datos.
- 25 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el ajuste de la frecuencia a la que el o los sensores de corrientes Eddy (14, 14') son accionados.
- 30 5. Un aparato para monitorizar defectos locales en uno o más engranajes de transmisión (24) en una caja de cambios durante su servicio, comprendiendo el aparato:
- el uno o los varios engranajes de transmisión;
- 35 un engranaje de monitorización o parte de un engranaje de monitorización que transporta uno o más sensores de corrientes Eddy (14, 14') dispuestos para interactuar con el o los engranajes de transmisión para monitorizar defectos locales en el o los engranajes de transmisión conforme estos rotan en la caja de cambios durante su servicio, en donde el engranaje de monitorización o la parte del engranaje de monitorización tienen una forma como para engranarse con el o los engranajes de transmisión a ser monitorizado pasando el o los sensores a través de una porción de una superficie del o de los engranajes de transmisión durante el movimiento relativo entre ellos,
- 40 un dispositivo (28) dispuesto para medir una señal de salida del o de los sensores de corrientes Eddy (14, 35, 14') resultante de la interacción con el o los engranajes de transmisión, y
- 45 un procesador (36) dispuesto para detectar un cambio en la forma de la señal de salida que sea indicativo de un defecto local.
- 50 6. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el procesador (36) está dispuesto para detectar un cambio en la amplitud de la señal de salida.
- 55 7. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 5 ó 6, en donde el dispositivo (28) está dispuesto para medir una señal de salida de datos del o de los sensores de corrientes Eddy (14, 14') cuando el o los engranajes de transmisión es o son instalados inicialmente, y el procesador (36) está dispuesto para detectar cambios en la forma (y opcionalmente en la amplitud) de la señal de salida mediante la comparación con la señal de salida de datos.
- 60 8. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 5, 6 ó 7, comprendiendo una unidad de accionamiento (34) dispuesta para ajustar la frecuencia a la que es accionado el sensor o los sensores de corrientes Eddy (14, 14').
- 65 9. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el uno o los varios sensores de corrientes Eddy (14, 14') transportados por el engranaje de monitorización o la parte del engranaje de monitorización comprenden una matriz de al menos dos, tres, cuatro, cinco, seis o más sensores (14, 14'), y opcionalmente en donde los sensores (14, 14') de la matriz tienen una o más diferentes orientaciones.
10. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el uno o los varios sensores de corrientes Eddy (14, 14') transportados por el engranaje de monitorización o la parte del engranaje de

monitorización comprenden un número de diferentes sensores (14, 14'), difiriendo los sensores (14, 14') en términos de tamaño, forma y/o posición de montaje.

5 11. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el uno o los varios sensores de corrientes Eddy (14, 14') están montados debajo de la superficie del engranaje de monitorización o la parte del engranaje de monitorización, y opcionalmente en donde el uno o los varios sensores de corrientes Eddy (14, 14') están integrados en el engranaje de monitorización o en la parte del engranaje de monitorización.

10 12. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el engranaje de monitorización o la parte del mismo comprenden uno o más dientes (16), y en donde, opcionalmente, el uno o los varios sensores de corrientes Eddy (14, 14') son transportados por el uno o los varios dientes (16) del engranaje de monitorización o de parte del mismo.

15

FIG. 1a

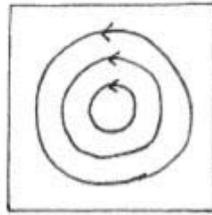


FIG. 1b

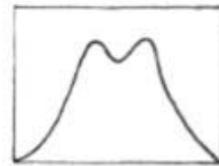
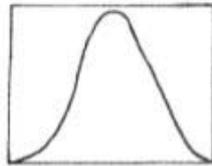
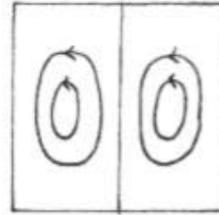


FIG. 1c

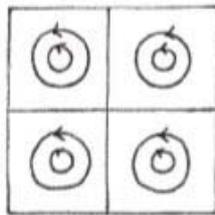


FIG. 1d

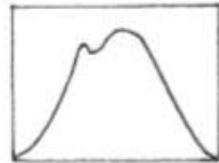
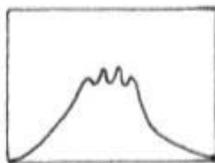
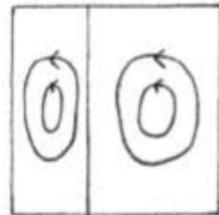
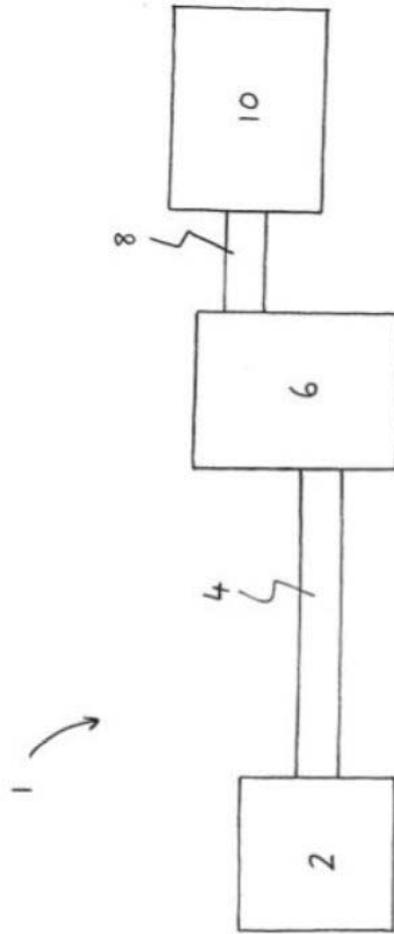


Figura 2



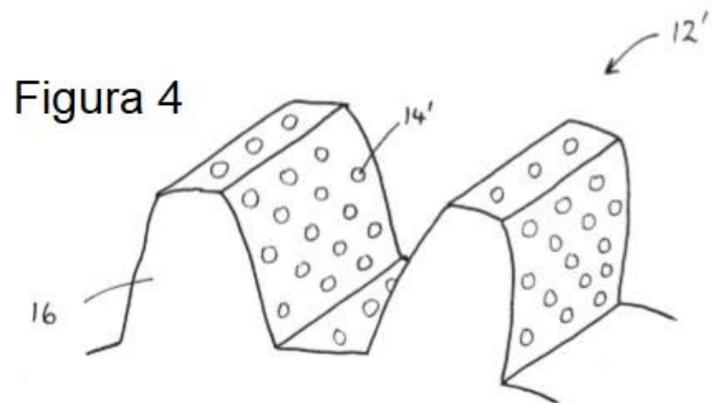
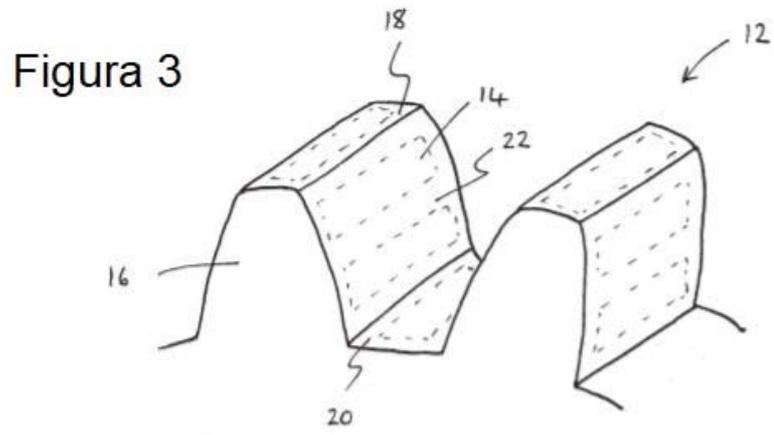


Figura 5

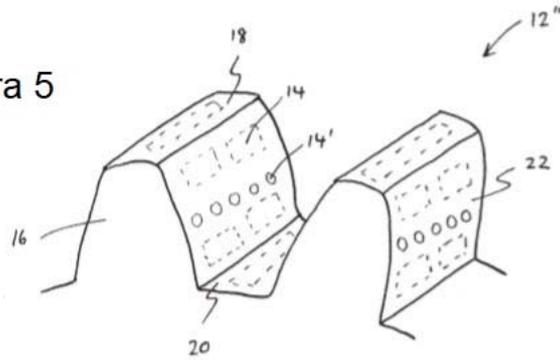
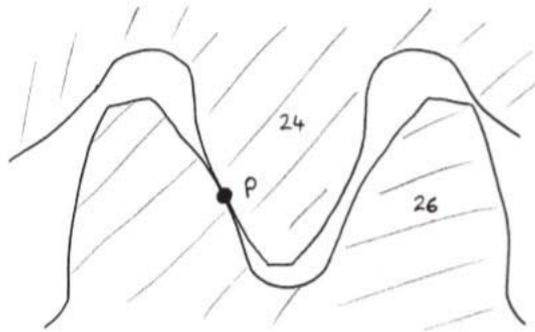


Figura 7



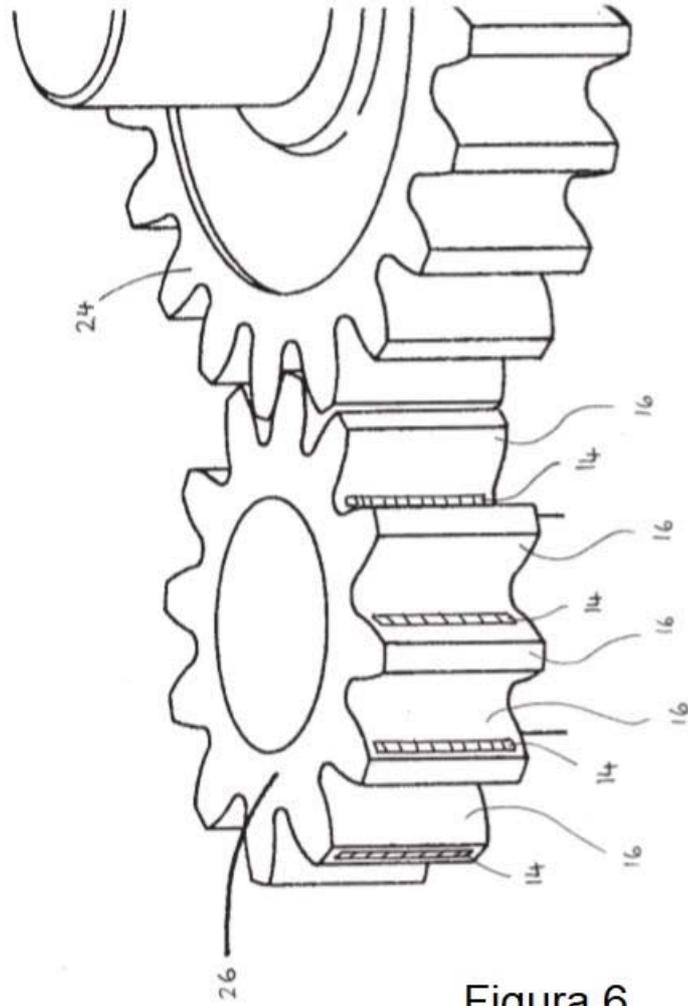


Figura 6

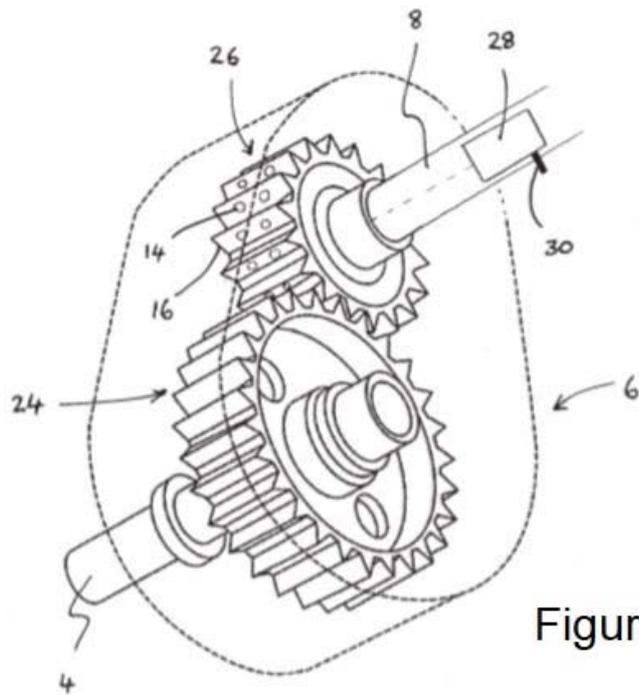


Figura 8

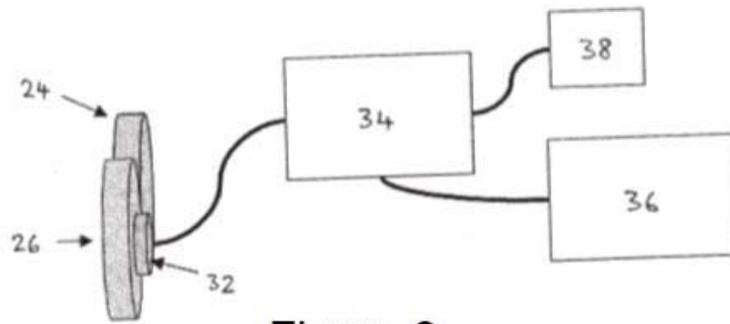


Figura 9

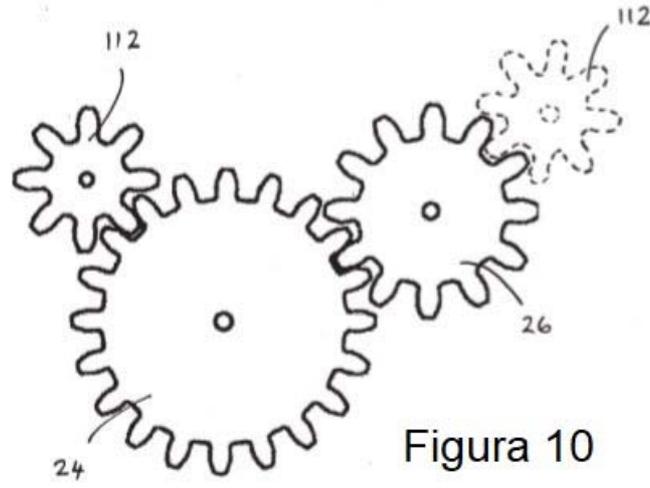


Figura 10

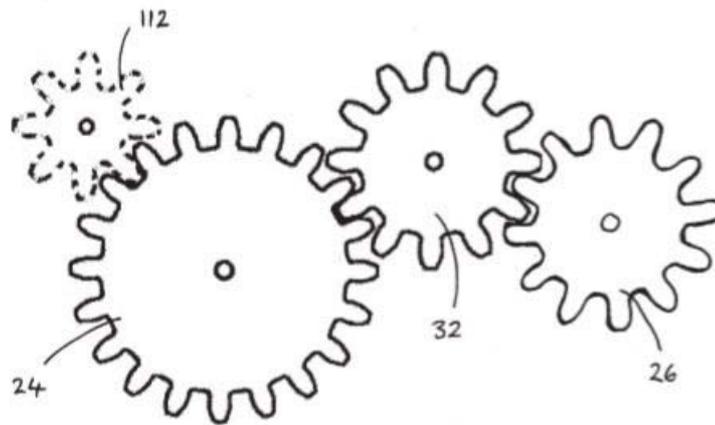


Figura 11

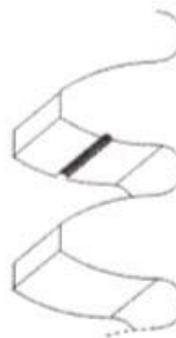
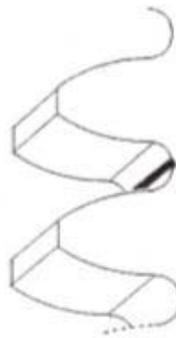
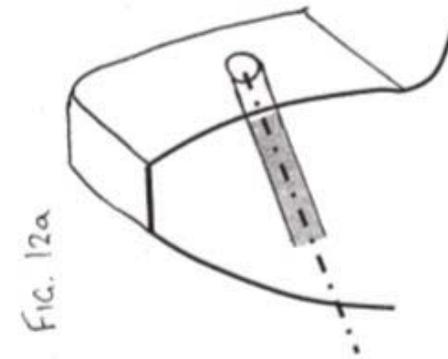
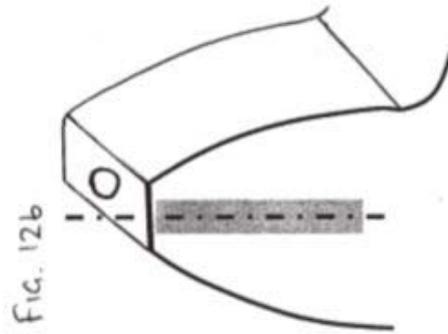
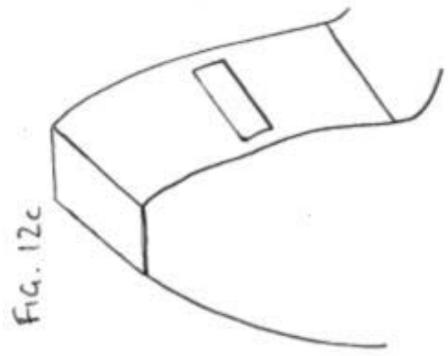


FIG. 12f

FIG. 12e

FIG. 12d

FIG. 13a

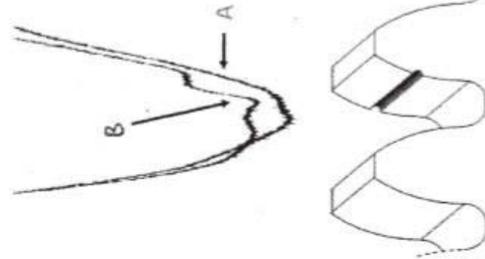


FIG. 13b

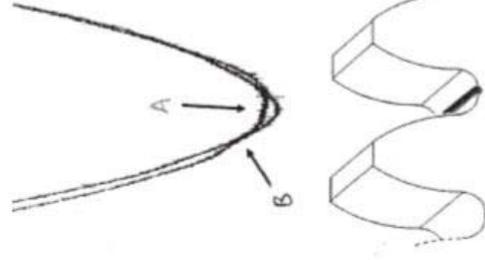
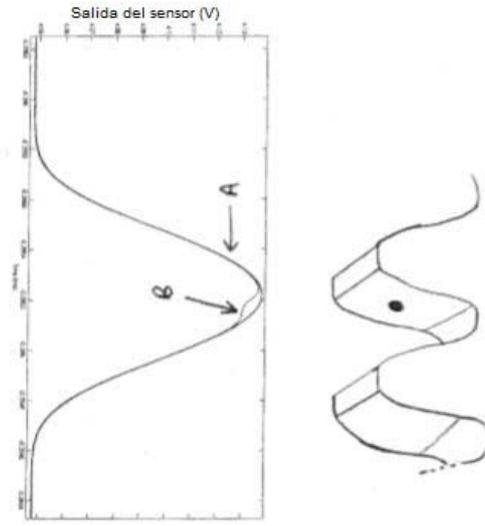


FIG. 13c



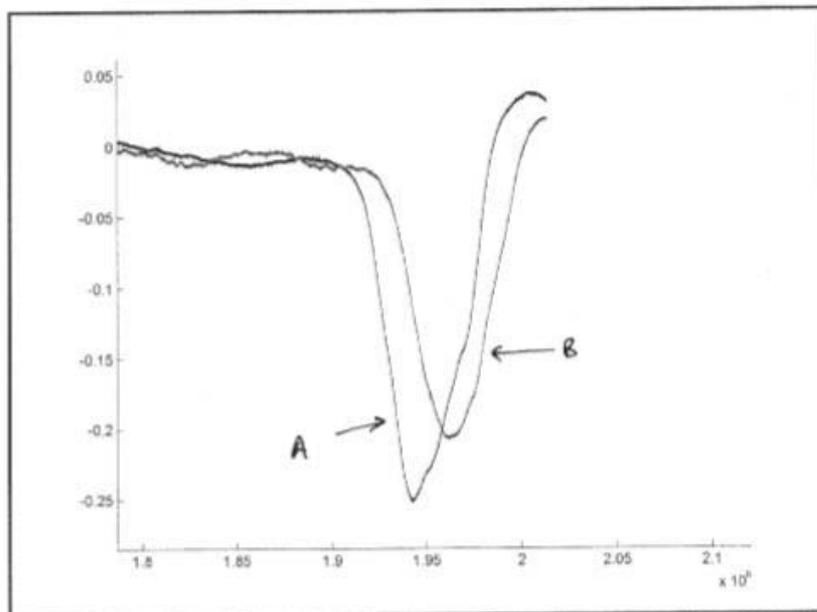
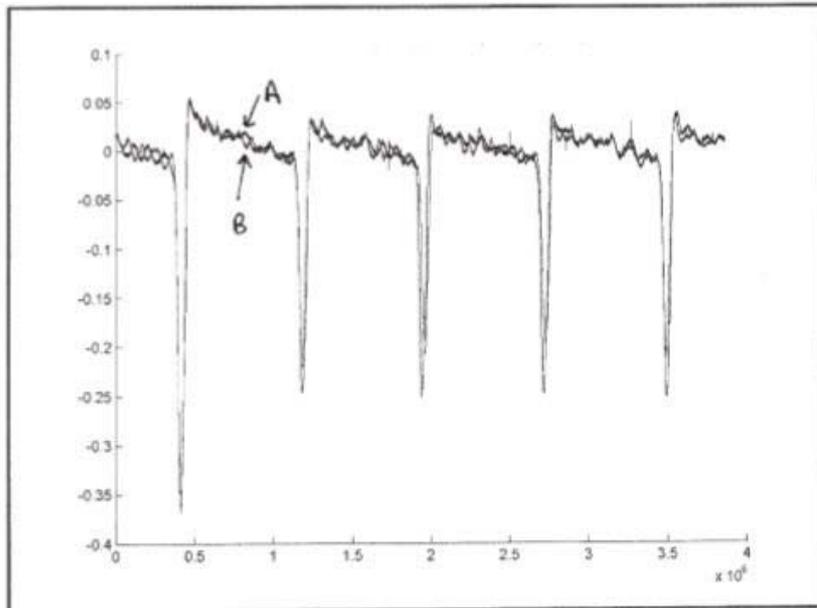


Figura 14

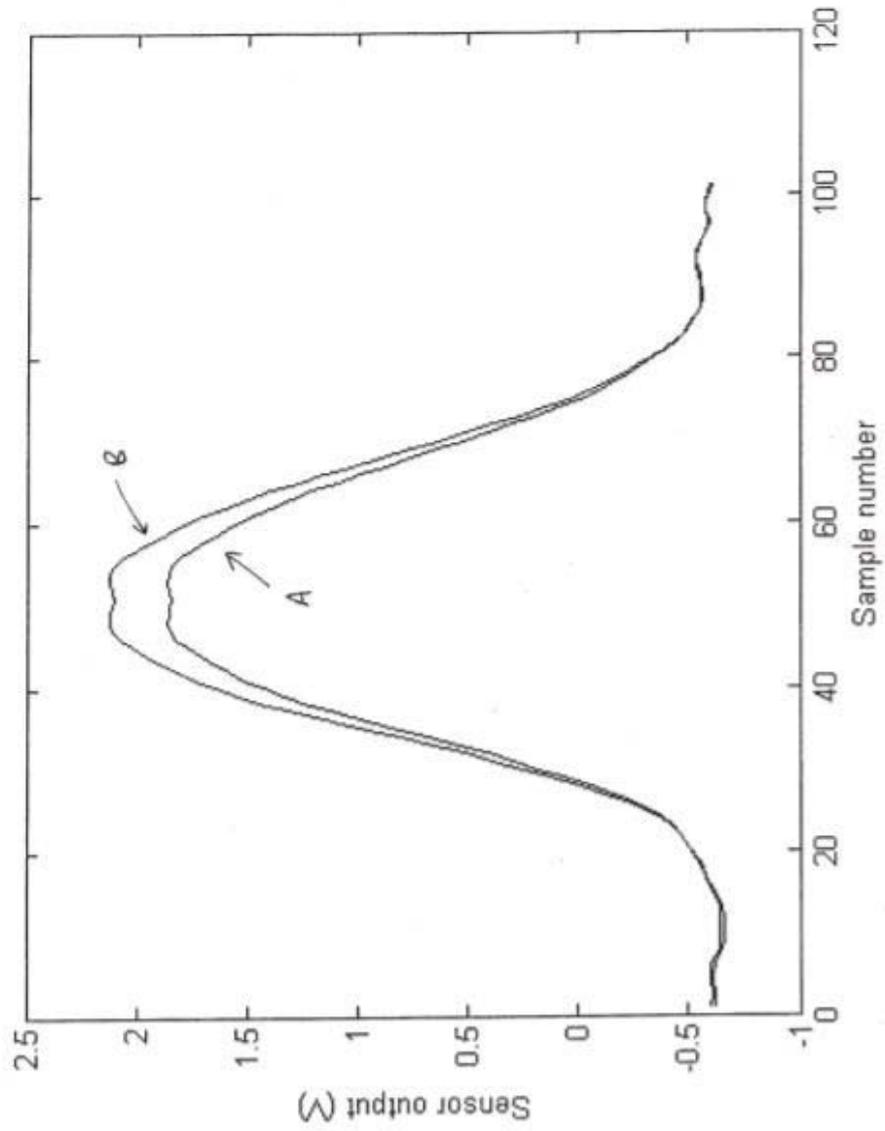


Figura 15