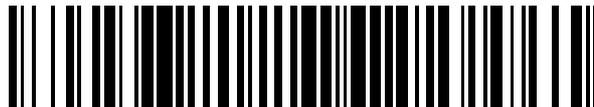


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 775**

51 Int. Cl.:

G01M 13/04 (2009.01)

G01R 31/34 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2013** **E 13196552 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020** **EP 2743670**

54 Título: **Sistema de detección de fallos y procedimiento asociado**

30 Prioridad:

17.12.2012 US 201213716933

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

21.01.2021

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**ZHANG, PINJIA y
NETI, PRABHAKAR**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 802 775 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

Sistema de detección de fallos y procedimiento asociado

5 La tecnología divulgada en este documento se relaciona en general con la detección de fallos de máquinas electro mecánicas (EMM: electro mechanical machines). Más en concreto, la materia se refiere a la detección de fallos de rodamiento dentro de un tren de transmisión acoplado a una máquina electro mecánica.

10 Las máquinas electro mecánicas que tienen generadores eléctricos, motores y un tren de transmisión pueden generar vibraciones de torsión y radiales a causa de la presencia de componentes deteriorados tales como rodamientos, engranajes o similares. Convencionalmente, se puede realizar un análisis de vibraciones de máquinas electro mecánicas para monitorizar las condiciones de operación de la máquina. Los fallos mecánicos en los sistemas electro mecánicos que tienen un tren de transmisión pueden generar vibraciones en la frecuencia de rotación del rotor. Un análisis de la frecuencia de rotación del rotor facilita la detección de fallos mecánicos asociados con el tren de transmisión. Las señales de vibración se pueden utilizar para monitorizar eficazmente las vibraciones radiales. Pero se ha descubierto que las señales de vibración no pueden detectar todos los tipos de fallos asociados con los diversos componentes del tren de transmisión.

20 Además, las vibraciones de torsión generadas por los componentes deteriorados del tren de transmisión que existen fuera de la máquina no pueden ser capturadas. Aunque se dispone de ciertas técnicas convencionales para determinar fallos en engranajes del tren de transmisión, un fallo de rodamiento en el tren de transmisión puede no ser determinado eficazmente por las técnicas convencionales.

25 Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento y sistema mejorados para monitorizar una condición de fallo de un dispositivo mecánico en una máquina electro mecánica.

30 De acuerdo con una forma de realización de ejemplo, se divulga un procedimiento de detección de fallos en un dispositivo mecánico de una máquina electro mecánica. El procedimiento incluye obtener una señal eléctrica medida de un dispositivo eléctrico acoplado a un dispositivo mecánico y generar una firma de la señal representativa de un fallo en el dispositivo mecánico en base a la señal eléctrica medida. El procedimiento también incluye determinar un parámetro de diagnóstico en base a una frecuencia armónica de la firma de la señal y determinar el fallo en el dispositivo mecánico en base al parámetro de diagnóstico.

35 De acuerdo con otra forma de realización de ejemplo, se divulga un sistema para detectar fallos en un dispositivo mecánico de una máquina electro mecánica. El sistema incluye un dispositivo basado en un procesador configurado para obtener una señal eléctrica medida de un dispositivo eléctrico acoplado a un dispositivo mecánico y para generar una firma de la señal representativa de un fallo en el dispositivo mecánico en base a la señal eléctrica medida. El dispositivo basado en procesador está configurado además para determinar un parámetro de diagnóstico en base a una frecuencia armónica de la firma de la señal y para determinar el fallo en el dispositivo mecánico en base al parámetro de diagnóstico.

40 De acuerdo con otra forma de realización de ejemplo, se divulga un medio legible informáticamente no transitorio codificado con un programa para proporcionar instrucciones a un dispositivo basado en un controlador. El programa proporciona instrucciones al dispositivo basado en procesador para obtener una señal eléctrica medida de un dispositivo eléctrico acoplado a un dispositivo mecánico y para generar una firma de la señal representativa de un fallo en el dispositivo mecánico en base a la señal eléctrica medida. El programa además proporciona instrucciones al dispositivo basado en procesador para determinar un parámetro de diagnóstico en base a una frecuencia armónica de la firma de la señal y para determinar el fallo en el dispositivo mecánico en base al parámetro de diagnóstico.

45 Se divulga un procedimiento de detección de daños en rodamientos utilizando señales de corriente de motor en la publicación de Eren y Deveney, cuyo título es "Bearing Damage Detection via Wavelet Packet Decomposition of the Stator Current" publicada en IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol. 53, NO. 2, abril de 2004.

50 Diversas características y aspectos de formas de realización de la presente tecnología se comprenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que referencias similares representan partes similares a lo largo de los dibujos, en los que:

60 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de detección de fallos de acuerdo con una forma de realización de ejemplo;

65 La Figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de detección de fallos de acuerdo con una forma de realización de ejemplo;

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra unas etapas de ejemplo involucradas en la detección de fallos en un tren de transmisión de acuerdo con una forma de realización de ejemplo;

La Figura 4A es un gráfico de una señal eléctrica en un dominio de tiempo y la Figura 4B es un gráfico de un correspondiente espectro de frecuencia de acuerdo con una forma de realización de ejemplo; y

La Figura 5 es una representación gráfica de una corriente de estator en un dominio de frecuencia de un tren de transmisión dañado que tiene un fallo en un rodamiento de guiado de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

Diversas formas de realización de la presente tecnología se refieren a un sistema y un procedimiento para detectar fallos de rodamiento en un dispositivo mecánico de una máquina electro mecánica. Se recibe una señal eléctrica medida procedente de un dispositivo eléctrico de la máquina electro mecánica. Se determina una firma de la señal representativa de un fallo de rodamiento en el dispositivo mecánico en base a la señal eléctrica medida. Se determinan uno o más parámetros de diagnóstico en base a la firma de la señal. Se determinan uno o más fallos del dispositivo mecánico en base a los parámetros de diagnóstico determinados.

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema 100 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo de la presente tecnología. El sistema 100 incluye una máquina electro mecánica 160 que tiene al menos un dispositivo eléctrico 150 y un dispositivo mecánico 140. El sistema 100 tiene un dispositivo de sensores eléctricos 170 para medir señales eléctricas de la máquina electro mecánica 160. El sistema 100 tiene un dispositivo basado en un procesador 180 para recibir señales eléctricas procedentes del dispositivo de sensores 170. En la forma de realización ilustrada, el dispositivo eléctrico 150 es un generador que genera una energía de salida 208, y el dispositivo mecánico 140 es un tren de transmisión. La máquina electro mecánica 160 también puede incluir una unidad de rotor 110, un rodamiento principal 120 y un eje principal 130.

En la forma de realización ilustrada, el dispositivo de sensores 170 incluye un sensor de corriente 172 para detectar corriente y un sensor de voltaje 174 para detectar voltaje en el generador 150. El número de sensores eléctricos puede variar en función de la aplicación. En una forma de realización, el sensor de corriente 172 mide la corriente que fluye a través de una o más fases del generador 150. De manera similar, el sensor de voltaje 174 puede medir el voltaje a través de una o más fases del generador 150. Si bien se pueden describir ciertas formas de realización de la presente tecnología con respecto a un generador polifásico, se debe señalar en el presente documento que en otras formas de realización de la presente tecnología se pueden tener en cuenta otros tipos de máquina electro mecánica polifásica. También se pueden tener en cuenta otros tipos de sensores eléctricos dentro del alcance de la presente tecnología.

El dispositivo basado en procesador 180 recibe las señales medidas por el dispositivo de sensores eléctricos 170. El dispositivo basado en procesador 180 puede ser un dispositivo informático de propósito general, o un procesador de señales digitales (DSP: Digital Signal Processor) o un controlador. El dispositivo basado en procesador 180 puede tener un dispositivo de entrada (que no se muestra) tal como un teclado, un ratón y un control para recibir información adicional de un usuario para configurar el dispositivo basado en procesador para realizar diversas formas de realización de la presente técnica. El dispositivo basado en procesador 180 puede tener una memoria 190 que es una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura (ROM) o cualquier otra forma de memoria legible informáticamente a la que puede acceder el dispositivo basado en procesador 180. La memoria 190 puede ser codificada con un programa para proporcionar instrucciones al dispositivo basado en procesador 180 para permitir una secuencia de etapas para determinar un fallo en el tren de transmisión 140. El dispositivo basado en procesador 180 puede estar configurado de forma adecuada para monitorizar y detectar condiciones de fallo de un rodamiento en el tren de transmisión 140 dispuesto en la máquina electro mecánica 160.

La Figura 2 es un diagrama de bloques del sistema 100 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. Según se ha comentado con referencia a La Figura 1, la unidad de rotor 110 está acoplada al generador 150 a través del tren de transmisión 140. Las señales eléctricas 204, 206 medidas respectivamente por los sensores 172, 174 son representativas de señales de corriente y de voltaje respectivamente del generador 150. En concreto, la señal eléctrica 204 es representativa de una corriente eléctrica del generador 150 acoplado al tren de transmisión 140. La señal eléctrica 206 es representativa de un voltaje eléctrico del generador 150 acoplado al tren de transmisión 140. Según se ilustra en el diagrama de bloques, el tren de transmisión 140 tiene un rodamiento 148 con una pista de rodadura interior 142, una pista de rodadura exterior 144 y rodamientos de bolas 146 en medio. El dispositivo basado en procesador 180 genera una firma de señal eléctrica 210 en base a por lo menos una de las señales eléctricas 204, 206. Se determina una señal de detección de fallo 214 en base a la firma de la señal eléctrica 210. La señal de detección de fallo 214 puede ser representativa de uno o más parámetros de diagnóstico. Se debe señalar en el presente documento que los términos "señal de detección de fallo" y "parámetro de diagnóstico" se pueden utilizar indistintamente. En la forma de realización ilustrada, la señal de detección de fallo 214 puede ser representativa de diversos fallos asociados con el tren de transmisión 140, que incluyen, pero no se limitan

a, fallos de rodamiento y fallos de engranajes del tren de transmisión 140. En ciertas formas de realización, los fallos del tren de transmisión 140 pueden incluir, pero no se limitan a, un fallo de engranaje del eje de alta velocidad (HS: high speed), un fallo de engranaje intermedio del eje de alta velocidad, un fallo de engranaje planetario, un fallo de engranaje de rodadura, un fallo de engranaje solar o similares. En algunas formas de realización, además, la señal 214 puede ser indicativa de un fallo de rodamiento del eje de alta velocidad, un fallo del eje intermedio de alta velocidad, un fallo del eje intermedio de baja velocidad, un fallo del rodamiento planetario, o similar.

Los fallos de rodamiento 148 del tren de transmisión 140 generan dos tipos de vibraciones, a saber, vibraciones de torsión y radiales. Las vibraciones de torsión pueden ser más adecuadas para determinar los fallos de rodamiento del tren de transmisión 140. Por ejemplo, el estado del rodamiento 148 del tren de transmisión 140 se puede determinar determinando una frecuencia y una magnitud de la señal de vibración de torsión generada por el tren de transmisión 140. Normalmente, los componentes en "buen estado" generan vibraciones de menor amplitud que los componentes en "mal estado". Los componentes de frecuencia de las vibraciones producidas por el rodamiento 148 son exclusivos del diseño del tren de transmisión y de la velocidad de rotación del eje. Los componentes de frecuencia y de amplitud de las señales eléctricas medidas 204, 206 del generador 150 corresponden a una pluralidad de fallos de rodamiento del tren de transmisión 140. Análisis de Señales Eléctricas (ESA: Electrical Signature Analysis) es una técnica no intrusiva para monitorizar el estado de componentes mecánicos dentro de máquinas rotatorias. Las señales eléctricas 204, 206 medidas por los sensores 172, 174, son recibidas por el dispositivo basado en procesador 180. El análisis de firma eléctrica (ESA) es realizado por el dispositivo basado en procesador 180 en base a las señales eléctricas 204, 206 para generar la firma de la señal 210. En base a la firma de la señal 210, se determinan uno o más parámetros de diagnóstico 214 representativos de fallos de rodamiento del tren de transmisión 140. En una forma de realización de la presente técnica, el dispositivo basado en procesador 180 realiza un análisis de la firma de corriente (CSA: current signature analysis) en base a la señal de corriente 204 para determinar fallos de rodamiento del tren de transmisión 140.

Una técnica de ejemplo del análisis de la firma eléctrica consiste en analizar los componentes de frecuencia de la firma de la señal eléctrica 210. En una forma de realización, el dispositivo basado en procesador 180 determina una transformada rápida de Fourier de las señales eléctricas 204, 206 que representa vibraciones del rodamiento 148 del tren de transmisión 140 para determinar la firma de la señal 210. Además, se determina una pluralidad de parámetros de diagnóstico en base a la firma de la señal 210 para identificar la ubicación o la gravedad de los fallos de rodamiento en el tren de transmisión 140.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que describe una técnica de ejemplo 300 de detección de fallos en el dispositivo mecánico (por ejemplo, el tren de transmisión) de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El dispositivo basado en procesador recibe al menos una señal eléctrica 302 y genera una firma de la señal eléctrica 304 en base a la señal eléctrica 302. Las señales eléctricas pueden ser representativas de al menos uno de entre un voltaje medido y una corriente medida del dispositivo eléctrico. La firma de la señal eléctrica se determina determinando un espectro de al menos una de las señales eléctricas. La firma de la señal eléctrica es representativa de un espectro de frecuencia de la señal eléctrica. En algunas formas de realización, el espectro de frecuencia puede ser una transformada de Fourier, una transformada discreta de Fourier, una transformación de onda o cualquier otra transformación que sea representativa de componentes de frecuencia de la firma de la señal. La firma de la señal también puede ser una densidad espectral de energía de la señal eléctrica. La densidad espectral de energía de la señal eléctrica es la amplitud del cuadrado del espectro de frecuencia de la señal eléctrica. En una forma de realización de la presente técnica, la firma de la señal se puede generar determinando una transformación de Hilbert de la señal eléctrica. Se debe señalar que la firma de la señal eléctrica se puede modificar para generar otra firma de la señal, que también se puede denominar firma de la señal eléctrica de continuación.

La Figura 4A es un gráfico 350 que representa el tiempo (eje x) 354 frente a la amplitud de una señal (eje y) 356. La curva 352 es representativa de una señal eléctrica en el dominio de tiempo.

La Figura 4B ilustra un gráfico 358 de un espectro de la señal 352 (que se muestra en la Figura 4A). El gráfico 358 representa la frecuencia (eje x) 362 frente a la magnitud del espectro (eje y) 364. La curva 360 es representativa de una transformada de Fourier de la señal eléctrica en el dominio de tiempo 352.

Volviendo a la Figura 3, se determina un parámetro de diagnóstico en base a las firmas de señal eléctrica 306. El procedimiento para determinar el parámetro de diagnóstico incluye determinar un rango de frecuencia correspondiente a un tipo de fallo de rodamiento y determinar una magnitud de la firma de la señal correspondiente al rango de frecuencia determinado. La magnitud de la firma de la señal es representativa de una propiedad estadística de la firma de la señal. Por ejemplo, el parámetro de diagnóstico puede ser un valor medio, o un valor de pico, o un valor mediano, o un valor cuadrático medio (RMS: Root Mean Square) de la firma de la señal eléctrica. Para determinar el parámetro de diagnóstico se puede utilizar un número adecuado de muestras de cualquiera de las firmas de señal eléctrica. El parámetro de diagnóstico también se puede determinar como una propiedad estadística dentro de un rango de frecuencia

en particular correspondiente a cualquiera de las firmas de señal eléctrica. Por ejemplo, una firma de la señal eléctrica en una banda de frecuencia en particular se representa como,

$$\underline{s(n)} = [s(n) \quad s(n-1) \quad \dots \quad s(n-k)], \quad (1)$$

en que $s(n)$ es la firma de la señal eléctrica, $s(n)$, $s(n-1)$... $s(n-k)$ son $k+1$ valores de muestra de la firma de la señal eléctrica. El valor medio como el valor de diagnóstico de la firma de la señal eléctrica $s(n)$ se define del siguiente modo:

$$\text{Avg}(\underline{s(n)}) = \frac{(s(n) + s(n-1) + \dots + s(n-k))}{k+1}. \quad (2)$$

De modo similar, como otro ejemplo, el valor de pico como el parámetro de diagnóstico de la firma de la señal eléctrica $s(n)$ se define del siguiente modo:

$$\text{Peak}(\underline{s(n)}) = \text{Max}[s(n), s(n-1), \dots, s(n-k)]. \quad (3)$$

En otro ejemplo más, el valor cuadrático medio (RMS) como el parámetro de diagnóstico de la firma de la señal eléctrica $s(n)$ se define del siguiente modo:

$$\text{RMS}(\underline{s(n)}) = \frac{(s^2(n) + s^2(n-1) + \dots + s^2(n-k))}{k+1}. \quad (4)$$

En ciertas formas de realización, se genera una pluralidad de parámetros de diagnóstico para determinar diferentes tipos de fallos relacionados con el tren de transmisión. El procedimiento para determinar el tipo de fallo de rodamiento del tren de transmisión incluye determinar una magnitud de pico de la firma de la señal e identificar un rango de frecuencia de la firma de la señal, que corresponde a la magnitud de pico. El procedimiento incluye además determinar al menos un defecto de la pista de rodadura exterior, un defecto de la pista de rodadura interior y un daño en las bolas en base al rango de frecuencia identificado. Los parámetros de diagnóstico se pueden determinar en base a la firma de la señal eléctrica, para bandas de frecuencia correspondientes a diversos fallos de rodamiento del tren de transmisión. Las bandas de frecuencia correspondientes a fallos de rodamiento se derivan a partir de la firma de la señal eléctrica. Las bandas de frecuencia correspondientes a diversos fallos de rodamiento no se superponen. La banda de frecuencia correspondiente a un fallo de rodamiento en el tren de transmisión depende de las dimensiones geométricas del componente en particular y de parámetros de operación del tren de transmisión. Los parámetros de operación del tren de transmisión pueden incluir, pero no se limitan a, la velocidad del rotor, la frecuencia de excitación del rotor, la frecuencia de salida del estator, la carga y la velocidad del eje de la máquina electro mecánica. El rango de frecuencia correspondiente al fallo también depende del modelo de análisis de la firma de la señal eléctrica adoptado en la determinación del fallo. En una forma de realización alternativa, el parámetro de diagnóstico se determina en base a una frecuencia armónica de la firma de la señal. Las amplitudes de los armónicos y la separación de frecuencias entre las amplitudes de pico de banda lateral se pueden utilizar para determinar el parámetro de diagnóstico.

En una forma de realización de ejemplo, se determina una transformada de Fourier de la señal eléctrica medida. La frecuencia f_{bearing} de la firma de la señal eléctrica correspondiente al fallo de rodamiento del tren de transmisión se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Outer raceway...} f_{orw} &= \frac{N_b}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b}{D_c} \cos \beta\right) \\ f_{\text{bearing}} : \quad \text{Inner raceway...} f_{irw} &= \frac{N_b}{2} f_r \left(1 + \frac{D_b}{D_c} \cos \beta\right) \\ \text{Ball...} f_{ball} &= \frac{D_c}{D_b} f_r \left(1 - \frac{D_b^2}{D_c^2} \cos^2 \beta\right) \end{aligned} \quad (4)$$

en que f_{orw} es la frecuencia correspondiente a un fallo de la pista de rodadura exterior, f_{irw} es la frecuencia correspondiente a un fallo de la pista de rodadura interior, y f_{ball} es la frecuencia correspondiente a un daño de las bolas. N_b es el número de bolas del rodamiento, D_b , D_c , y β son los parámetros dimensionales del rodamiento, f_r es la frecuencia de la corriente del estator correspondiente a la velocidad del rotor. La frecuencia de la corriente del estator correspondiente al fallo de rodamiento es representada por:

$$f_s = |f_{fundamental} \pm k \cdot f_{bearing}| \quad (5)$$

en que f_s es la frecuencia de la corriente del estator, $f_{fundamental}$ es la frecuencia de salida del estator, k es una constante que corresponde a diferentes modos de fallo.

En una forma de realización específica, la frecuencia correspondiente a un fallo de la pista de rodadura exterior de un engranaje intermedio se determina en base a los parámetros físicos y de operación del tren de transmisión. La frecuencia de rodamiento se calcula a partir de la ecuación (4) del siguiente modo:

$$f_{bearing} = \frac{N_b}{2} (f_{shaft\ speed} \div f_{fundamental}) \times Gear_ratio \times (1 - \frac{D_b}{D_c} \cos \beta)$$

en que $f_{shaft\ speed}$ es la velocidad de rotación del eje, $f_{fundamental}$ es la frecuencia fundamental de 60Hz, $Gear_ratio$ es la relación de dientes correspondiente al engranaje intermedio. La frecuencia de rodamiento es la frecuencia correspondiente al fallo de la pista de rodadura exterior f_{orw} . La frecuencia de la corriente del estator correspondiente al fallo de la pista de rodadura exterior del rodamiento del tren de transmisión se calcula según la ecuación (5) del siguiente modo

$$f_s = |f_{fundamental} \pm k \cdot f_{orw}|$$

Una amplitud de la firma de la señal eléctrica a una frecuencia f_s es representativa de información sobre el fallo de la pista de rodadura exterior del engranaje intermedio del tren de transmisión. Una amplitud de pico de la firma de la señal eléctrica es representativa del parámetro de diagnóstico correspondiente al fallo de la pista de rodadura exterior del rodamiento del tren de transmisión. El parámetro de diagnóstico se compara con un umbral predefinido 310. Si el parámetro de diagnóstico es mayor que el umbral predefinido 312, entonces se determina un fallo de la pista de rodadura exterior del rodamiento 314. Si el parámetro de diagnóstico es menor que el umbral predefinido, entonces el rodamiento del tren de transmisión no tiene un fallo de pista de rodadura exterior 316.

El procedimiento incluye además determinar la gravedad del fallo de cada fallo de rodamiento determinado en el tren de transmisión. El procedimiento para determinar la gravedad del fallo de rodamiento del tren de transmisión incluye identificar un rango de frecuencia de la firma de la señal, que corresponde al tipo del fallo de rodamiento en el tren de transmisión. El procedimiento incluye además determinar una magnitud de pico de la firma de la señal, que corresponde al rango de frecuencia y determinar la gravedad del fallo de rodamiento en base a la magnitud de pico determinada. Por ejemplo, cada uno de los fallos de rodamiento se puede clasificar como de gravedad leve, media o alta. Para determinar la gravedad de un fallo concreto, el parámetro de diagnóstico correspondiente al fallo de rodamiento se puede comparar con dos umbrales. Si el parámetro de diagnóstico es inferior a ambos umbrales, el fallo se puede clasificar como de baja gravedad. Si el parámetro de diagnóstico se encuentra entre los dos umbrales, el fallo se puede clasificar como de gravedad media. Si el parámetro de diagnóstico es mayor que ambos umbrales, el fallo se puede clasificar como de gravedad alta.

Los valores de umbral descritos en este documento se determinan a priori en base a unas mediciones de línea base de un tren de transmisión sin fallos. En una forma de realización, las firmas de señal se determinan para una máquina electro mecánica que opera en condiciones normales sin ningún fallo. Se determina un valor de pico de la firma de la señal en una banda de frecuencia adecuada correspondiente a un fallo del tren de transmisión. Dicho valor de pico se utiliza para definir un umbral predefinido que corresponde al fallo de rodamiento. Para mejorar la precisión de la detección de fallo, se determina un conjunto de umbrales a priori para cada tipo de fallo de rodamiento, que incluye un fallo de pista de rodadura interior, un fallo de pista de rodadura exterior y un fallo de bola. Para cada componente se mide una pluralidad de señales de corriente y de voltaje para condiciones de línea base y condiciones de detección de fallos y se establecen los correspondientes valores de umbral. Por ejemplo, para diferenciar una condición de tren de transmisión deteriorado a partir de un fallo de pista de rodadura interior, se determina un valor de umbral de aviso para el valor cuadrático medio (RMS) del espectro de la corriente del estator del tren de transmisión, en un rango de frecuencia correspondiente al fallo de pista de rodadura interior. Se puede detectar un fallo de pista de rodadura interior si hay una variación entre el espectro de corriente del estator y el valor de umbral de aviso determinado. Para evitar diagnósticos erróneos a causa de una insuficiencia de datos, el dispositivo basado en controlador mide una pluralidad de muestras de la corriente del estator, por ejemplo, alrededor de 30 – 50 muestras de valores de medición de la corriente del estator. Cuando el valor cuadrático medio de la corriente del estator supera el valor de umbral predefinido, se determina un fallo en la pista de rodadura interior del tren de transmisión. De forma similar, en correspondencia con cada tipo de fallo del tren de transmisión, se determinan uno o más valores de umbral adicionales para identificar la gravedad del fallo.

La Figura 5 es una representación gráfica 400 de una muestra de corriente del estator en el dominio de frecuencia de un tren de transmisión dañado que tiene un fallo de rodamiento en la pista de rodadura exterior. El eje x 408 representa la frecuencia en Hz (Hertz) y el eje y 410 representa la amplitud en dB (Decibelios) del espectro de la corriente del estator. La curva 412 representa un espectro de un flujo de corriente del estator a través de un tren de transmisión no deteriorado, mientras que la curva 406 representa un espectro de un flujo de corriente del estator a través de un tren de transmisión deteriorado que tiene un fallo de rodamiento en la pista de rodadura exterior. El pico del espectro 402 de la curva 406 es representativo de la corriente del estator a causa de que el fallo en el tren de transmisión es mayor en comparación con el pico del espectro 404 de la curva 412 que representa la corriente del estator del tren de transmisión no deteriorado. En la forma de realización ilustrada, la diferencia entre los picos de espectro 404, 402 que representan una condición de tren de transmisión no deteriorado y una condición de tren de transmisión deteriorado, es de unos 9 dB.

De acuerdo con formas de realización descritas en este documento, los fallos de rodamiento en un tren de transmisión de una máquina electro mecánica se determinan usando una o más señales eléctricas medidas procedentes de uno o más sensores eléctricos. Las firmas de señales eléctricas se derivan a partir de las señales eléctricas. En base a las firmas de señales eléctricas, se determinan diversos fallos de rodamiento en el tren de transmisión 140. El uso de señales eléctricas en la determinación de los fallos de rodamiento en el tren de transmisión proporciona una mayor capacidad de detección de fallos en los rodamientos del tren de transmisión, en contraste con el uso de señales de vibración para el mismo propósito.

Se debe entender que no necesariamente todos los objetos o ventajas que se han descrito anteriormente se pueden lograr de acuerdo con alguna forma de realización particular. Así, por ejemplo, los expertos en la materia reconocerán que los sistemas y técnicas que se describen en este documento pueden ser incorporados o llevados a cabo de modo que se logre o mejore una ventaja o grupo de ventajas según se enseñan en este documento sin que necesariamente se logren otros objetos o ventajas según se enseñan o sugieren en este documento.

Si bien se han descrito diversas formas de realización de la tecnología, se debe entender que algunos aspectos de las invenciones pueden incluir sólo algunas de las formas de realización que se han descrito. Por consiguiente, las invenciones no se deben considerar limitadas por la descripción anterior, sino que sólo están limitadas por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento (300) para detectar fallos de rodamiento dentro de un tren de transmisión acoplado a un generador que genera una energía de salida, en el que el generador está acoplado a una unidad de rotor a través del tren de transmisión, comprendiendo el procedimiento:
- 10 y obtener (302) una señal eléctrica medida del generador (150);
generar (304) una firma de la señal representativa de un fallo de rodamiento en el tren de transmisión (140) en base a la señal eléctrica medida;
determinar (306) un parámetro de diagnóstico en base al espectro de frecuencia de la firma de la señal;
- 15 y determinar (314) el fallo en el tren de transmisión (140) en base al parámetro de diagnóstico;
en el que determinar (306) el parámetro de diagnóstico comprende:
determinar un rango de frecuencia correspondiente a un tipo del fallo; y
determinar una magnitud de la firma de la señal correspondiente al rango de frecuencia determinado;
- 20 en el que determinar el fallo del tren de transmisión comprende determinar el tipo del fallo y la gravedad del fallo
identificando un rango de frecuencia de la firma de la señal, que corresponde al tipo del fallo en el tren de transmisión;
determinando una magnitud de pico de la firma de la señal, que corresponde al rango de frecuencia; y
determinando la gravedad del fallo en base a la magnitud de pico determinada, comparando la magnitud de pico determinada con dos umbrales para clasificar la gravedad.
- 25 2. El procedimiento (300) de la reivindicación 1, en el que la señal eléctrica medida es representativa de al menos uno de entre una corriente medida y un voltaje medido del generador (150).
- 30 3. El procedimiento (300) de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que determinar (314) el fallo en el tren de transmisión (140) comprende comparar (312) el parámetro de diagnóstico con un valor de umbral predefinido.
- 35 4. El procedimiento (300) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que generar (304) la firma de la señal comprende determinar al menos una de entre una transformada rápida de Fourier, una transformada discreta de Fourier, una transformada de onda, una densidad espectral de energía de la señal eléctrica.
- 40 5. El procedimiento (300) de la reivindicación 1, que comprende:
determinar al menos uno de entre un defecto de pista de rodadura exterior, un defecto de pista de rodadura interior, y un daño de bolas en base al rango de frecuencia identificado.
- 45 6. Un sistema (100) que comprende:
un tren de transmisión (140) acoplado a un generador (150) que genera una energía de salida, en el que el generador (150) está acoplado a una unidad de rotor 110 a través del tren de transmisión (140), que se caracteriza por comprender además
un dispositivo basado en un procesador (180) configurado para detectar fallos de rodamiento dentro del tren de transmisión, realizando el procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

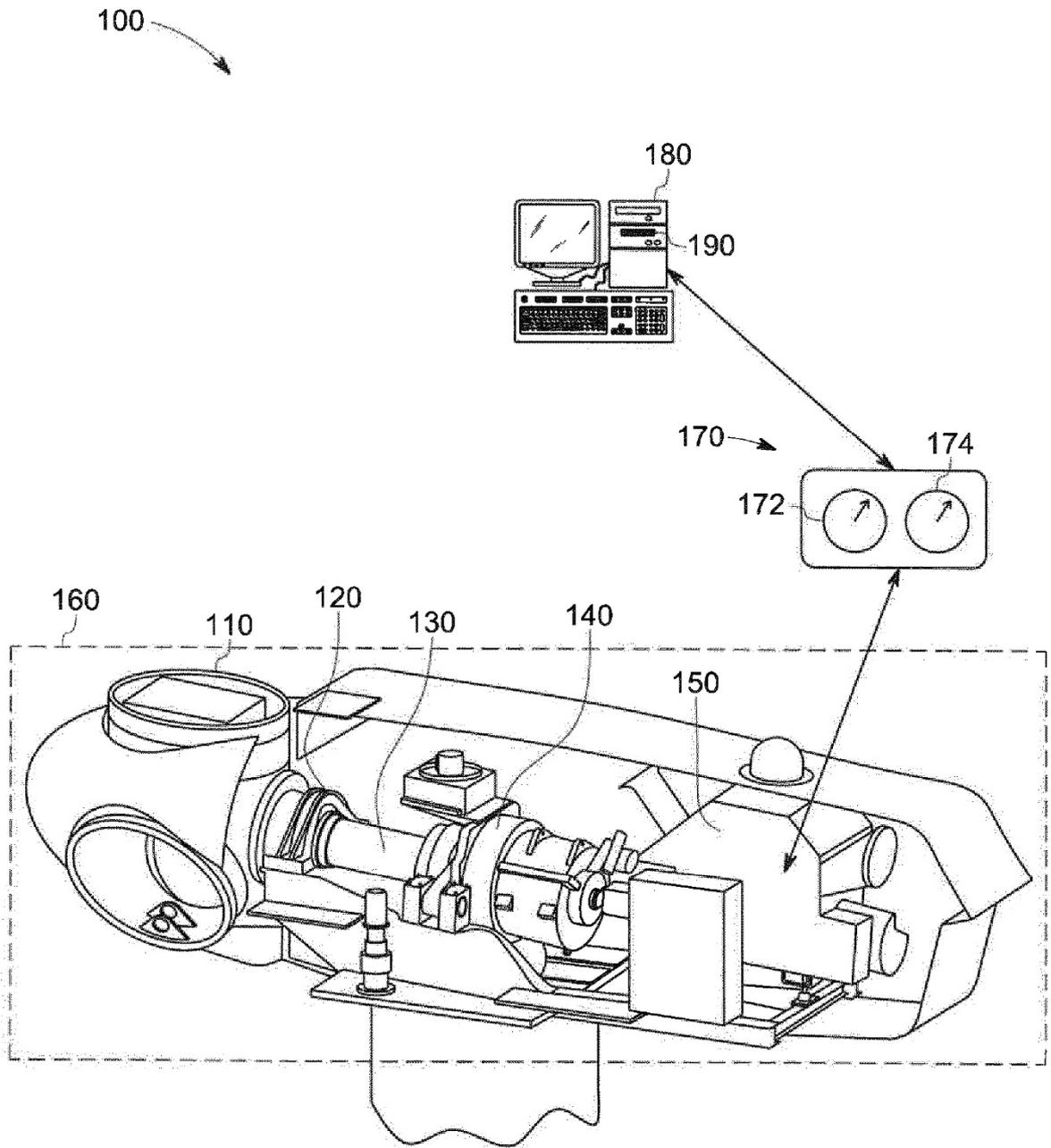


FIG. 1

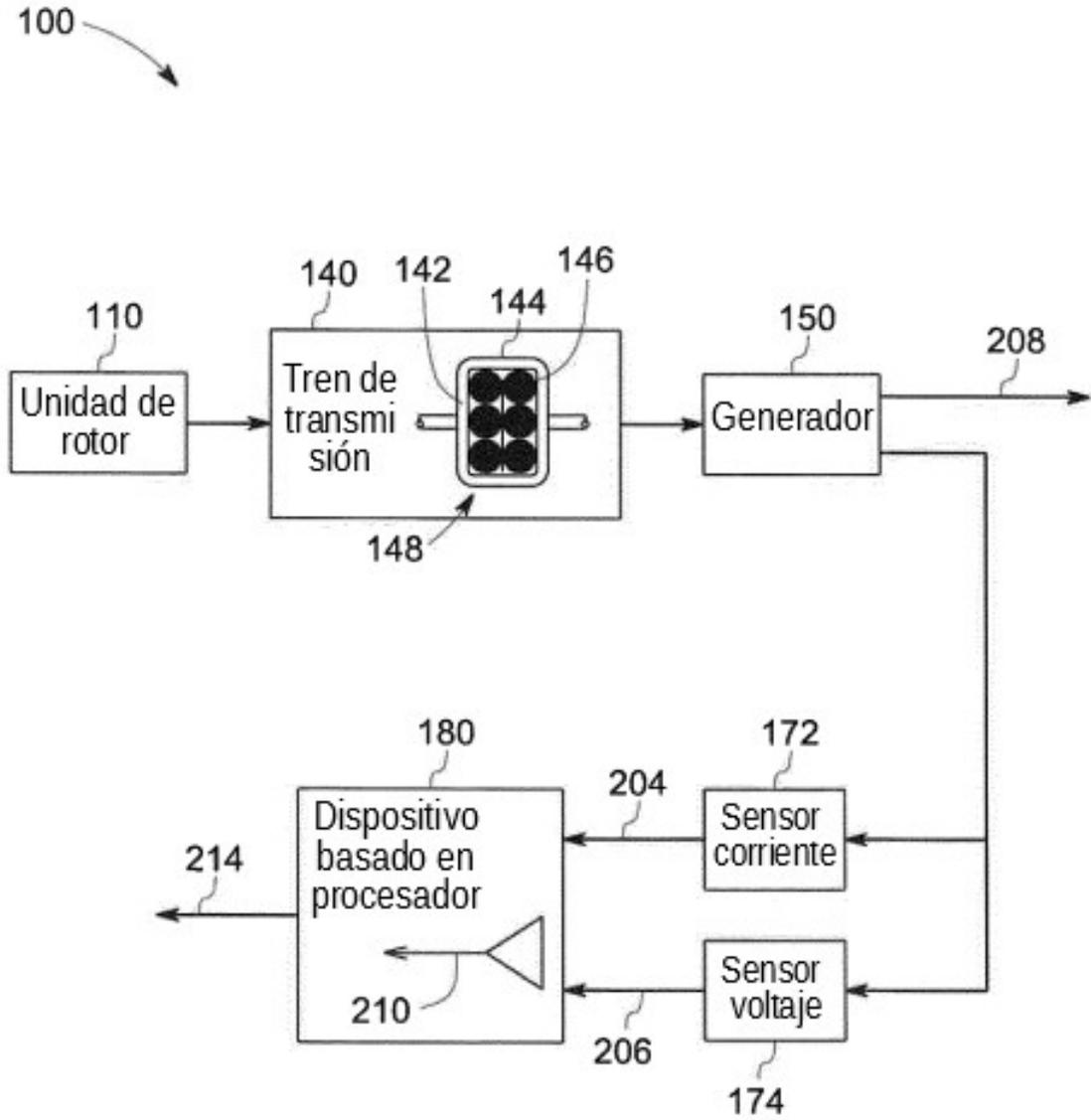


FIG. 2

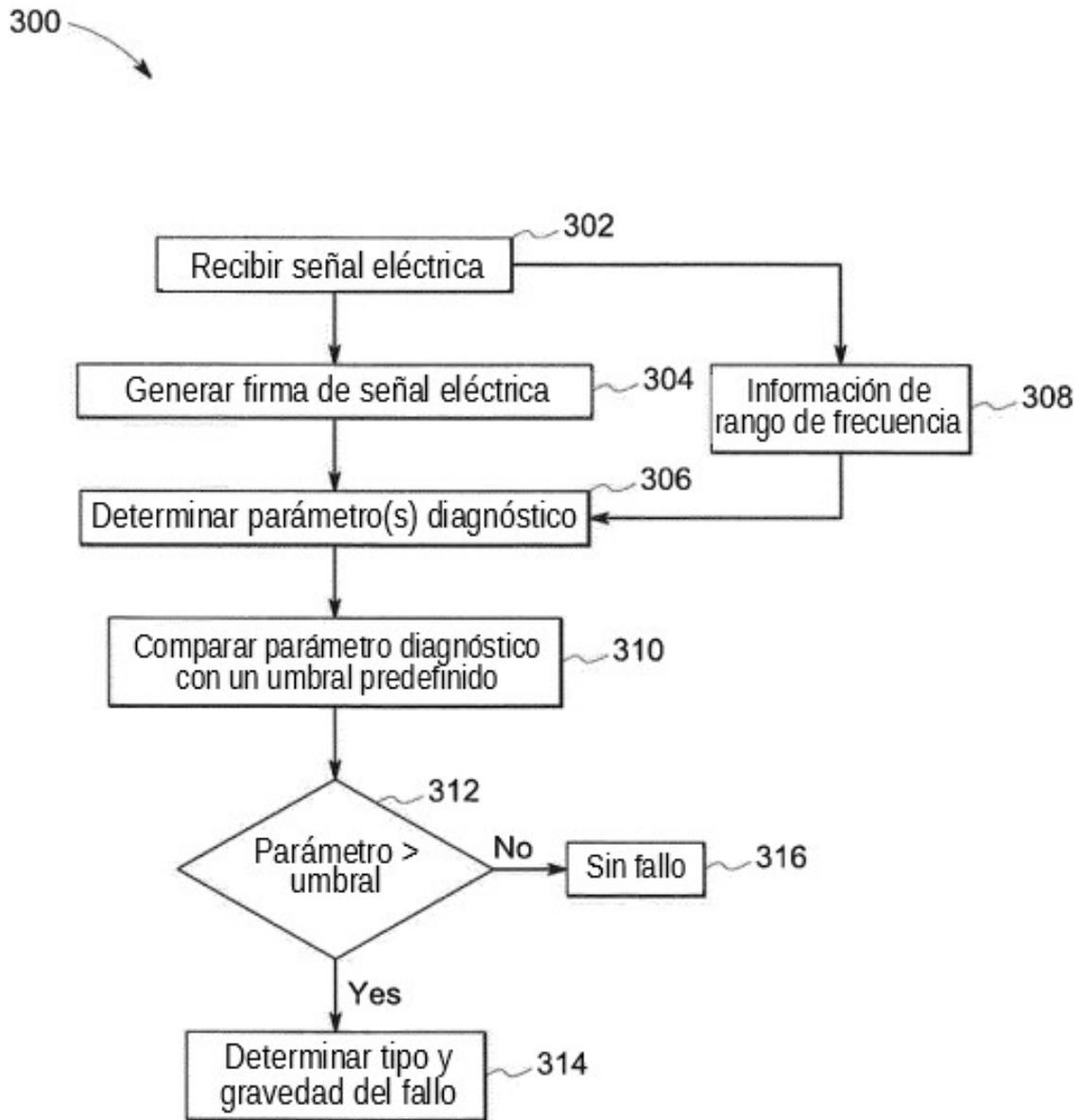


FIG. 3

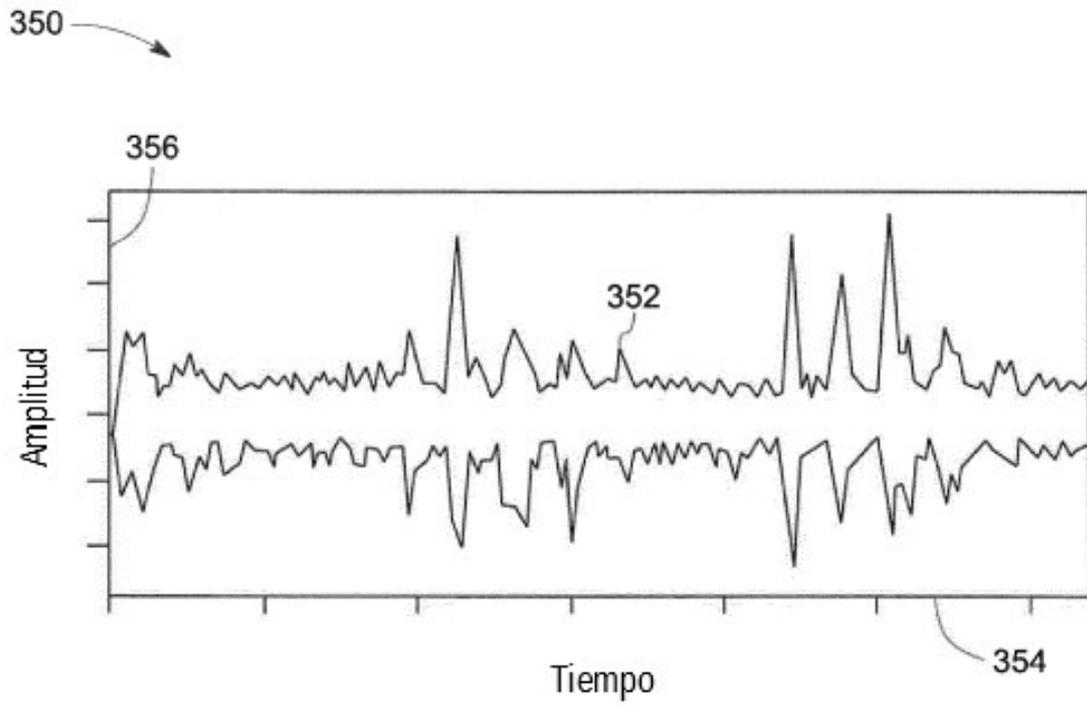


FIG. 4A

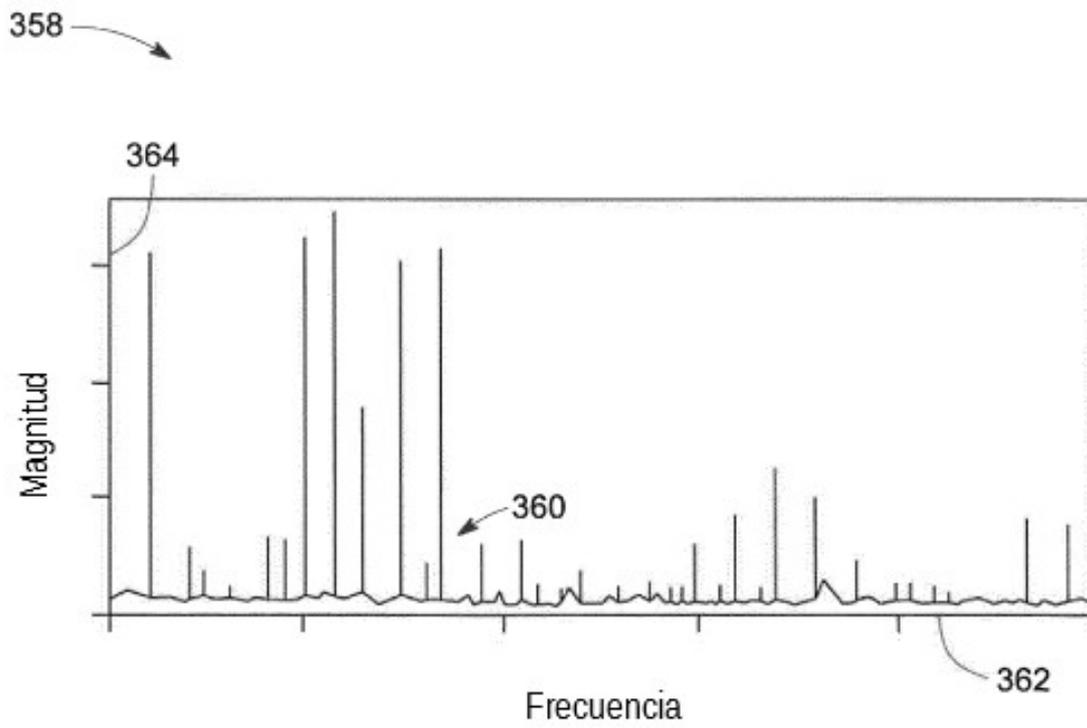


FIG. 4B

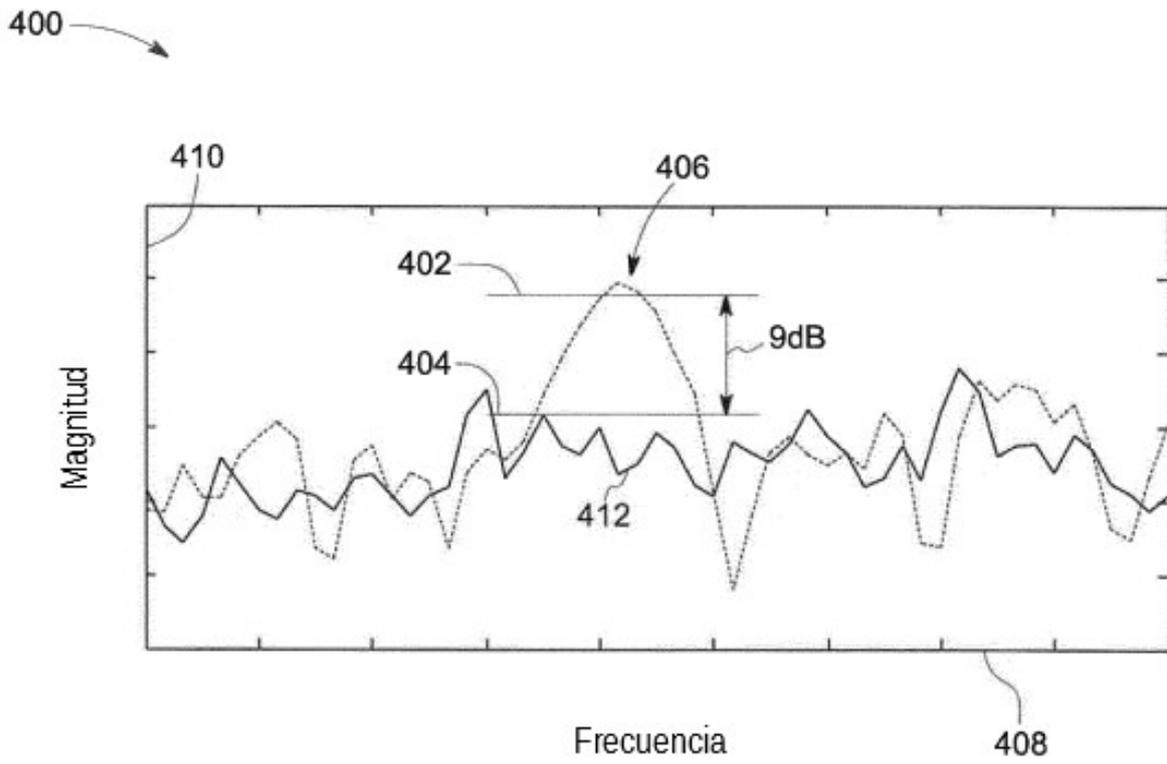


FIG. 5