



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 281 012**

(51) Int. Cl.:
G01L 5/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **04774945 .2**

(86) Fecha de presentación : **16.09.2004**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1668332**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **14.06.2006**

(54) Título: **Método y disposición de sensores para la medida de la carga en un rodamiento con elementos rodantes basados en la deformación del modelo.**

(30) Prioridad: **24.09.2003 NL 1024372**

(73) Titular/es: **AB. SKF**
Hornsgatan 1
S-415 03 Göteborg, SE

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.09.2007

(72) Inventor/es: **Mol, Hendrik, Anne**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.09.2007

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 281 012 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y disposición de sensores para la medida de la carga en un rodamiento con elementos rodantes basados en la deformación del modelo.

Campo de la invención

La presente invención está relacionada con las medidas de la carga en rodamientos con elementos rodantes, tales como los rodamientos de bolas o los rodamientos de rodillos. Más específicamente, la presente invención está relacionada con un método y una disposición de sensores para determinar un vector de carga que esté actuando sobre un rodamiento con elementos de rodillos, que comprende el desplazamiento y/o la deformación, utilizando N sensores para la determinación del desplazamiento y/o la deformación en un elemento en forma de anillo del rodamiento con elementos de rodillos.

Técnica anterior

Dicho método de la medida de la carga y la disposición de los sensores son conocidos, por ejemplo, a través de la patente de los EE.UU. US-A-5140849, la cual describe un rodamiento con elementos rodantes con una unidad sensora. La unidad sensora comprende dos elementos sensores, en la forma de calibres de deformación, los cuales miden realmente varias características de las prestaciones del rodamiento, incluyendo la carga aplicada, la velocidad rotacional y la aceleración.

No obstante, esta disposición conocida de los sensores no es capaz de medir el vector de la carga total en el rodamiento. Se hacen presunciones sobre la configuración del rodamiento (la mayoría de tipo empírico) de la forma en la cual se detecta la carga en el rodamiento, mediante dos elementos sensores, y por tanto la forma en que puede determinarse la carga en el rodamiento a partir de las señales de los elementos sensores. Así mismo, debido a la naturaleza no lineal del rodamiento, el método de medida de la vibración directa relativa, utilizando la frecuencia de paso de las bolas, no es suficiente para determinar la carga sobre el rodamiento en un sentido general.

Sumario de la invención

La presente invención busca el proporcionar un método mejorado y una disposición de sensores para determinar la carga en un rodamiento de rodillos, el cual sea capaz de determinar el vector de carga total sobre el rodamiento, es decir, los tres componentes de la fuerza ortogonal y dos momentos (no teniendo importancia el momento alrededor del eje de rotación del rodamiento).

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de acuerdo con el preámbulo definido anteriormente, en el cual el método comprende además la determinación de la deformación del elemento, mediante el cálculo de la amplitud y fase de los N/2 elementos de Fourier, que representan al menos una forma del modo radial del elemento en forma de anillo, y suministrando los N/2 elementos de Fourier a una red neuronal de rodamientos, siendo entrenada la red neuronal de rodamientos a partir de los N/2 términos de Fourier. El elemento de rodamiento en el cual se mide la deformación utilizando los sensores, puede ser un anillo interior o exterior, o incluso uno de los elementos de los rodamientos.

Este método tiene la ventaja de que es posible determinar el vector de carga en todas las dimensiones

ortogonales en todas las posiciones de los componentes del rodamiento de elementos rodantes, mediante el uso de las medidas de la deformación de los componentes. Se ha encontrado que es posible el entrenamiento de una red neuronal, para proporcionar un vector de carga como el resultado de salida, utilizando los coeficientes de forma del modo calculados como entrada, en donde la relación entre las señales de entrada y el resultado de la salida será una relación no lineal.

En una realización adicional, el rodamiento de elementos rodantes comprende dos filas de rodamientos coaxiales, en el que el elemento en forma de anillo del rodamiento de elementos rodantes es el anillo exterior del rodamiento de una de las dos filas de los rodamientos coaxiales. Se ha encontrado que utilizando solo las medidas de una única fila, es posible obtener el vector de carga en la disposición del rodamiento como conjunto.

Los N sensores pueden comprender sensores de deformación en una realización adicional, y al menos una forma del modo radial comprende una forma del modo de orden cero y una o más formas del modo de orden dos o superior. Utilizando sensores de deformación, no puede medirse el desplazamiento del elemento de rodamiento (forma del modo de orden cero), pero utilizando el presente método será posible incluso obtener el vector de carga con una precisión suficiente.

En una realización adicional, los N sensores comprenden sensores de desplazamiento, y al menos una forma del modo radial comprende una o más formas de orden cero y superiores. Utilizando sensores de desplazamiento, los datos de las medidas relativas a todas las formas del modo formarán conjuntamente la deformación del elemento de rodamiento, dando por resultado una precisión mayor del vector de carga resultante.

Para mejorar además la calidad del resultado de la medida, se determinan los N/2 coeficientes polinómicos de Chebyshev a partir de las señales de los sensores, que representan al menos una forma del modo axial del elemento en forma de anillo.

La red neuronal de rodamientos, en una realización adicional, es entrenada utilizando una pluralidad de conjuntos de datos, comprendiendo cada conjunto de datos un vector de carga predefinido en un tipo específico de rodamiento de elementos de rodillo, y los datos de las medidas asociadas a partir de N sensores.

En un aspecto adicional, la presente invención está relacionada con una disposición de sensores, para determinar un vector de carga que esté actuando sobre un rodamiento de elementos rodantes en funcionamiento, en el que la disposición de sensores comprende una pluralidad de N sensores para medir el desplazamiento y/o la deformación, para determinar el desplazamiento y/o la deformación en uno de los elementos del rodamiento de elementos de rodillos, un calculador de coeficientes de la forma del modo, conectado a la pluralidad de N sensores, para determinar la deformación del elemento, mediante el cálculo de la amplitud y fase de los N/2 términos de Fourier, que representan al menos una forma del modo radial del elemento en forma de anillo, y una red neuronal de rodamientos, conectada al calculador de coeficientes de la forma del modo, en la que la red neuronal de rodamientos se entrena para proporcionar el vector de

carga en el rodamiento de elementos rodantes a partir de los $N/2$ términos de Fourier.

La disposición de los sensores proporciona ventajas comparables a las ventajas expuestas anteriormente en relación con el presente método. Las realizaciones de la presente disposición de sensores se encuentran descritas en las reivindicaciones dependientes de la disposición de los sensores.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se expone a continuación con más detalles utilizando varias realizaciones a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra una vista en sección transversal de un rodamiento de elementos rodantes provisto con varios sensores del desplazamiento;

la figura 2 muestra una vista en sección transversal del rodamiento de elementos rodantes de la figura 1 a través de la línea II-II; y

la figura 3 muestra un diagrama de bloques de una disposición de sensores de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones a modo de ejemplo

En la figura 1 se muestra una vista en sección transversal de un rodamiento 1 de elementos rodantes, por ejemplo, un rodamiento a bolas o un rodamiento de rodillos. El rodamiento 1 de elementos rodantes comprende un anillo exterior 5, un anillo interior 6 y varios elementos rodantes 7, tales como bolas o rodillos (siendo ocho el número de elementos rodantes 7). El anillo exterior 5 del rodamiento de elementos rodantes 1 está fijado a un portador 2 del sensor, el cual forma el anillo fijo para el rodamiento 1 de elementos rodantes. En el portador de sensores 2 se proporcionan ocho sensores 8 en las posiciones que se enfrentan al anillo 5 exterior del rodamiento, con una separación (angular) correspondiente a la separación angular de los elementos rodantes 7 del rodamiento 1. Los sensores 8 pueden por ejemplo ser sensores de desplazamiento o bien sensores de vibración, conocidos como tales por los técnicos especializados en el arte.

Tal como se muestra en la vista en sección transversal de la figura 2, el anillo 5 exterior del rodamiento está provisto con una hendidura 3 en su periferia exterior. Las superficies exteriores del anillo 5 exterior del rodamiento se encuentran próximas al portador 2 de sensores. El sensor 8 puede por tanto monitorizar cualquier deformación de la superficie de la hendidura 3 del anillo 5 exterior, como resultado de los elementos rodantes 7 al pasar, y por el vector de fuerza aplicado al rodamiento 1.

Para el técnico especializado en arte, estará claro que la hendidura circunferencial 3 puede proporcionarse también en el portador 2 de sensores, de forma tal que sea posible una deformación (local) de la superficie exterior del anillo 5 exterior del rodamiento. Estará claro también para el técnico especializado en el arte, que es posible utilizar los sensores 8 para monitorizar la superficie interior del anillo 6 interior del rodamiento, y que el anillo interior 6 del rodamiento (o el portador del anillo interno de soporte análogo al portador del sensor 2) puede proporcionarse con una hendidura 3 circunferencial.

En la figura 1, se indican también un eje X y un eje Y, estando el eje Z definido por ser ortogonal con los ejes X e Y (que se extiende perpendicularmente

hacia la superficie del dibujo). Además de ello, pueden definirse dos ejes rotacionales, por ejemplo, los ejes rotacionales alrededor del eje X y eje Y, respectivamente. En general, el rodamiento 1 de elementos rodantes se encuentra en funcionamiento sometido al vector de fuerza f , que comprende tres elementos de fuerza en la dirección x, y y z, respectivamente, y dos elementos de movimiento alrededor de los ejes x e y, respectivamente.

Los rodamientos están hechos en la forma de unidades que contienen dos filas de rodamientos que pueden alcanzar una combinación de las fuerzas axiales, fuerzas radiales y momentos de flexión. Un ejemplo de dicha unidad de rodamiento 10 que tiene dos filas de rodamientos 1, 1' es el mostrado en la figura 3. Dichas unidades 10 pueden ser utilizadas como rodamiento de ruedas de un automóvil moderno, que comprende una brida o vigueta para el montaje de la unidad de rodamiento 10 a la estructura y una parte giratoria que está conectada a la rueda.

En general, la carga en la unidad de rodamiento 10 puede incluir fuerzas en las tres direcciones así como también movimientos en los tres ejes. Las fuerzas y los momentos en la unidad de rodamiento 10 conducen a fuerzas predominantemente radiales y axiales en las filas 1, 1' del rodamiento individuales en la unidad 10. El anillo exterior 5 de la unidad 10 responde a las fuerzas en las filas 1, 1' mediante la deformación elástica.

Es básico para la presente invención el poder comprender que cualquier objeto mecánico, tal como el anillo interior o el anillo exterior 5, 6 del rodamiento, o también los elementos 7 de rodadura, pueden ser solo deformados de acuerdo con sus formas de los modos naturales. De acuerdo con la técnica de la síntesis del modo del componente (CMS), las formas de los modos naturales pueden describirse utilizando un conjunto específico de ecuaciones, como por ejemplo las descritas en el documento "Dinámica de los rodamientos a bolas" de J. A. Wensing, ISBN 90-36512298, el cual se incorpora aquí como referencia.

La deformación del anillo exterior 5 es la suma de los modos forzados (formas del modo) de la unidad 10, y es conocido que estos pueden describirse mediante funciones polinómicas. La deformación en una realización está descrita con las series de Fourier para la dirección circunferencial, y por ejemplo los polinomios de Chebyshev para la dirección paralela al eje de rotación de la unidad de rodamiento 10.

No es estrictamente necesario determinar las formas de los modos en la dirección axial. Se ha encontrado que la información circunferencial en una fila 1, 1' de dicha unidad de rodamiento 10 es suficiente. No obstante, se ha encontrado que utilizando las medidas relativas a las formas de los modos axiales se permite el poder determinar el ángulo de contacto de la carga.

Los términos de Fourier circunferenciales se miden utilizando una magnitud adecuada de los sensores 8 que miden el desplazamiento y/o la deformación. Se observará que la medida de la deformación puede determinar los modos 0 ("modo de respiración"), 2 (deformación oval), 3 (deformación triangular), et., pero no el modo 1 (movimiento rígido del cuerpo). La medida del desplazamiento puede determinar las formas del modo radiales, incluyendo el modo del cuerpo rígido, determinando el desplazamiento relativo del anillo interior 6 contra el anillo exterior 5 en las posiciones separadas en forma regular. Con los N

sensores 8, es posible determinar la amplitud y fase de los $N/2$ términos de Fourier distintos, que representan la forma del modo radial del anillo 5.

En la realización mostrada en la figura 3, una única fila 1 está equipada con los sensores asociados 8. En una realización adicional, ambas filas 1, 1' pueden estar equipadas con los sensores 8, permitiendo el cálculo de la carga en el rodamiento con una precisión y robustez mayores.

Las amplitudes del modo y las fases son una función de las fuerzas radiales y axiales en la fila 1, 1' del rodamiento que pueden medirse. La carga en la fila 1, 1' del rodamiento es la suma de las fuerzas de contacto individuales en dicha fila 1, 1'.

El anillo exterior 5 de la unidad de rodamiento 10 se deforma debido a las fuerzas, pero la deformación está influenciada por la rigidez de contacto de los contactos de rodadura individuales. La amplitud de las formas de los modos individuales está acoplada no linealmente por tanto a las cargas. Las amplitudes de los modos que describen las deformaciones, no obstante, son todas monótonamente dependientes de la carga. En la práctica, las redes neuronales artificiales no lineales son muy capaces de reconstruir la carga neta en una unidad 10 de rodamiento a partir de la entrada no lineal.

En la figura 4 se muestra un diagrama esquemático de una disposición de sensores de acuerdo con una realización de la presente invención. Los sensores 8 están conectados en paralelo a un calculador 11 de coeficientes de las formas de los modos, el cual está configurado para derivar los valores de la amplitud y fase de las formas del modo generalizado a partir de las señales de entrada de los sensores 8. Como ejemplo, la figura 5 muestra una representación gráfica de los valores de la amplitud de las formas de los modos para una disposición específica, para los modos 0 a 5.

La amplitud y fase de las formas de los modos se introducen a una red neuronal de rodamientos 12, la cual ha sido entrenada para proporcionar la carga del rodamiento, utilizando como entrada las señales de amplitud y fase. El diseño y el entrenamiento de una red neuronal para proporcionar una señal de salida de la pluralidad de las señales de entrada, en donde existe una relación no lineal entre las señales de entrada y la señal de salida, son bien conocidos en el arte, y no precisan de más explicaciones. La red neuronal,

por ejemplo, puede ser entrenada utilizando conjuntos de datos, en donde cada conjunto de datos comprende un vector de la carga, aplicado en curso a la unidad de rodamiento 10 (salida deseada de la red neuronal 12) y los datos del sensor medido (y procesado), asociados con dicho vector de carga. En general, la relación no lineal mencionada es dependiente del tipo de la unidad de rodamiento 10 utilizada, y posiblemente también dependiente de las especificaciones de montaje. En dicho caso, la red neuronal de rodamientos 12 es entrenada par dicha situación específica.

El calculador 11 de los coeficientes de las formas de los modos y la red neuronal de rodamientos 12 pueden estar implementados cada uno utilizando un ordenador de propósito general o un sistema dedicado de procesamiento de señales, o bien una combinación de los mismos. El calculador 11 de los coeficientes de las formas de los modos y la red neuronal de rodamientos 12 pueden conectarse además a unos medios de memoria (no mostrados) para almacenar los parámetros, datos y resultados del procesamiento. Así mismo, la red neuronal de rodamientos 12 puede estar conectada a unos medios de interfaz (no mostrados), por ejemplo, para proporcionar una salida de los resultados procesados en una pantalla o en una impresora.

El calculador 11 de los coeficientes de las formas de los modos está configurado para procesar las señales de los sensores 8, y puede comprender, por ejemplo, filtros, amplificadores, etc., o medios de procesamiento de señales digitales, tales como convertidores analógico-digitales, filtros digitales, unidades aritmético-lógicas, etc., o una combinación de ambos.

Cuando se conozca por adelantado, por ejemplo debido a la construcción en la cual se utilice el rodamiento 1 de elementos de rodadura, que el vector de la fuerza estará dirigido en una dirección principalmente, será suficiente utilizar un número menor de sensores 8 en el presente conjunto de sensores. Si se conoce, por ejemplo, que el vector de fuerza estará predominantemente dirigido en una única dirección, podrá ser suficiente proporcionar, por ejemplo, tres sensores adyacentes entre sí en dicha dirección, porque será la única zona del anillo exterior 5 en donde tendrán lugar las deformaciones. Esto simplifica el conjunto de sensores, mientras que se mantiene una precisión suficiente.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar un vector de carga que actúa sobre un rodamiento de elementos rodantes (1), en el cual el método comprende:

medir el desplazamiento y/o la deformación, utilizando N sensores (8) para determinar el desplazamiento y/o la deformación en un elemento de forma de anillo (5, 6, 7) del rodamiento de elementos rodantes (1);

determinar una deformación del elemento (5, 6, 7) mediante el cálculo de la amplitud y fase de N/2 términos de Fourier que representen al menos una forma de modo radial del elemento en forma de anillo (5, 6, 7);

alimentar los N/2 términos de Fourier a una red neuronal de rodamientos (12), en donde la red neuronal de rodamiento (12) está entrenada para proporcionar el vector de carga en el rodamiento de elementos rodantes (1) a partir de los N/2 términos de Fourier.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el rodamiento de elementos rodantes (1) comprende dos filas de rodamientos coaxiales (1, 1'), en el que el elemento en forma de anillo es el anillo exterior del rodamiento (5) de una de las dos filas de los rodamientos coaxiales (1, 1').

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el cual los N sensores (8) comprenden sensores de la deformación, y al menos una forma del modo radial comprende una forma del modo de orden cero, y una o más formas del modo de orden dos o superior.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el cual los N sensores (8) comprenden sensores de desplazamiento, y al menos una forma del modo radial que comprende una o más formas del modo del orden cero y superiores.

5. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además la determinación de los N/2 coeficientes polinómicos de Chebyshev a partir de la N señales de los sensores, que representan al menos una forma del modo axial del elemento en forma de anillo (5, 6, 7).

6. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual la red neuronal de rodamientos (12) está entrenada utilizando la pluralidad de conjuntos de datos, en el cual cada conjunto de datos comprende un vector de carga predeterminado de un tipo específico del rodamiento de elementos rodantes (1), y los datos asociados de la medida a partir de los N sensores (8).

7. Una disposición de sensores para determinar un vector de carga que actúa sobre un rodamiento de un elemento de rodadura (1) en funcionamiento, en el que la disposición de los sensores comprende:

una pluralidad de N sensores (8) que miden el desplazamiento y/o la deformación para determinar el desplazamiento y/o la deformación en uno de los

elementos (5, 6, 7) del rodamiento de elementos de rodadura (1);

un calculador (11) de los coeficientes de la forma de los modos, conectado a la pluralidad de los N sensores (8), para determinar la deformación del elemento (5, 6, 7), mediante el cálculo de la amplitud y la fase de los N/2 términos de Fourier, que representan al menos una forma del modo radial del elemento en forma de anillo (5, 6, 7);

una red neuronal de rodamientos (12), conectada al calculador de los coeficientes de la forma del modo (11), en donde la red neuronal de rodamientos (12) se entrena para proporcionar el vector de carga en el rodamiento de elementos de rodadura (1) a partir de los N/2 términos de Fourier.

8. Una disposición de sensores de acuerdo con la reivindicación 7, en la cual el rodamiento de elementos de rodadura (1) comprende dos filas de rodamientos coaxiales (1, 1'), el elemento en forma de anillo del rodamiento de elementos de rodadura que corresponde al anillo exterior del rodamiento (5) de una de las dos filas de los rodamientos coaxiales (1, 1').

9. Una disposición de sensores de acuerdo con la reivindicación 7 ú 8, en la cual los N sensores (8) comprenden sensores de deformación, y al menos en la cual una forma del modo radial comprende una forma del modo de orden cero, y una o más formas del modo de orden dos o superior.

10. La disposición de sensores de acuerdo con la reivindicación 7 ú 8, en la cual los N sensores (8) comprenden sensores de desplazamiento, y al menos una forma del modo radial comprende una o más formas del modo del orden cero y superiores.

11. Una disposición de sensores de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en la cual el calculador de coeficientes de formas de los modos (11) está configurada además para determinar los N/2 coeficientes polinómicos de Chebyshev, que representan al menos una forma del modo axial del elemento en forma de anillo (5, 6, 7).

12. La disposición de sensores de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en la cual la red neuronal de rodamientos (12) está entrenada utilizando una pluralidad de conjuntos de datos, en la que cada conjunto de datos comprende un vector de carga predefinido según un tipo específico del rodamiento de elementos de rodadura (1), y los datos de medida asociados a partir de los N sensores (8).

13. La disposición de sensores de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en la cual el anillo interior de rodamiento (6) o anillo exterior (5) están fijados a un portador del sensor (2), proporcionando una hendidura circunferencial (3) entre al menos una parte de las superficies de contacto del anillo interior (6) o anillo exterior (5) del portador de sensores (2).

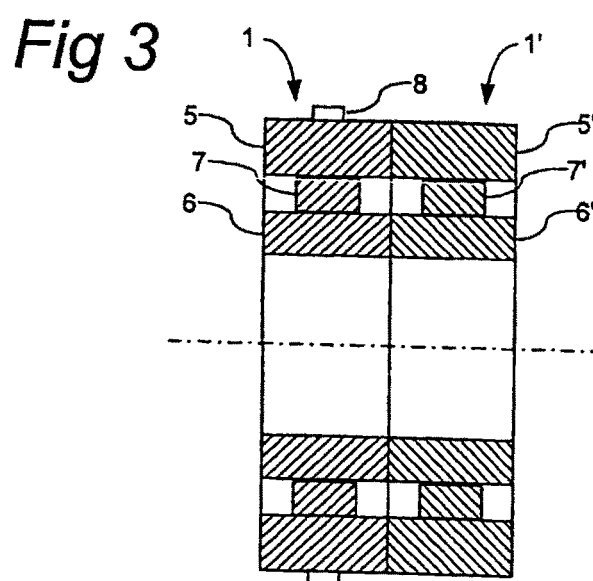
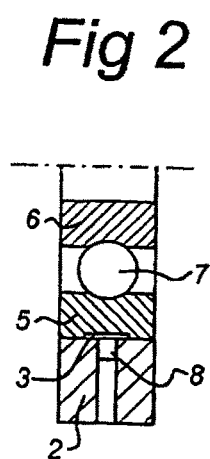
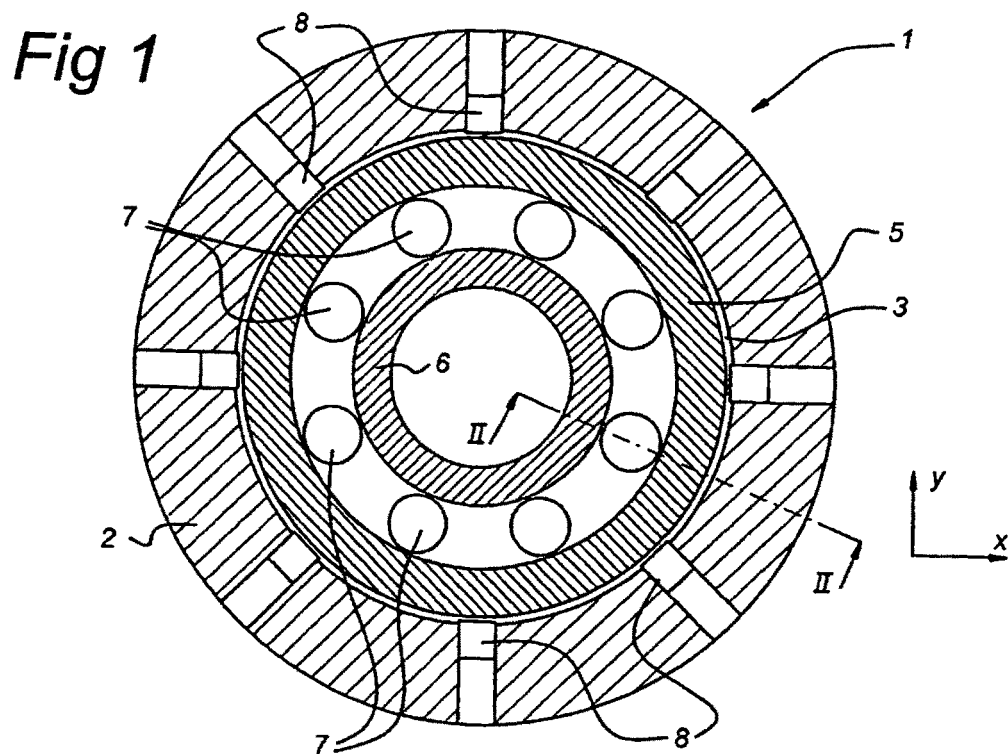


Fig 4

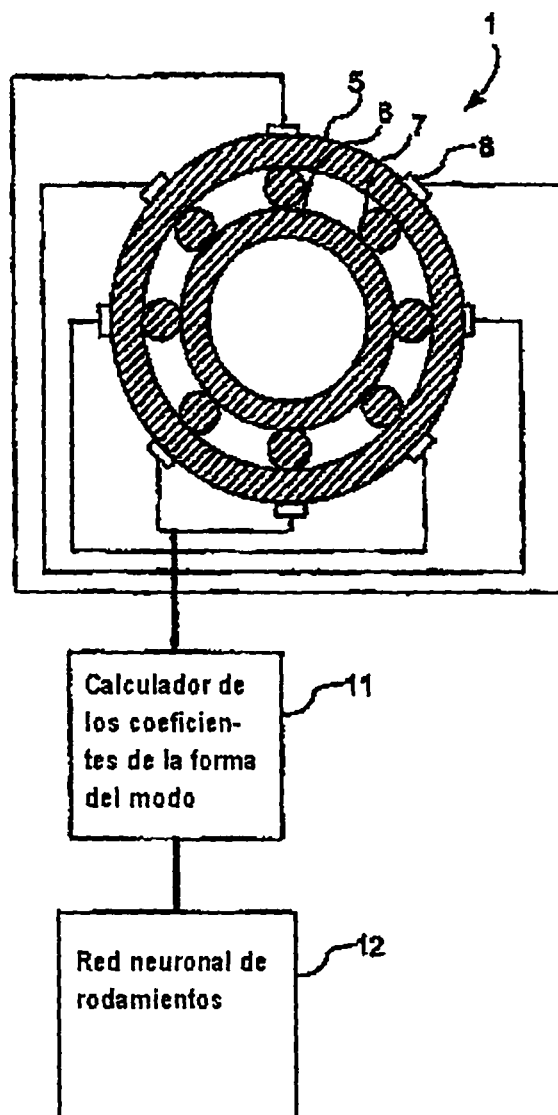


Fig 5

