

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 109**

51 Int. Cl.:
G01M 13/04 (2006.01)
G01M 13/02 (2006.01)
G01H 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06018548 .5**
96 Fecha de presentación: **09.08.2000**
97 Número de publicación de la solicitud: **1746404**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.01.2007**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente**

30 Prioridad:
16.08.1999 DE 19938721

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.05.2012

73 Titular/es:
**PRÜFTECHNIK DIETER BUSCH AG
OSKAR-MESSTER-STRASSE 19-21
85737 ISMANING, DE**

72 Inventor/es:
**Lysen, Heinrich y
Franke, Dieter**

74 Agente/Representante:
Lehmann Novo, Isabel

ES 2 380 109 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente, en particular rodamientos o engranajes, así como a un procedimiento y a un dispositivo para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, en particular para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente.

Un cuadro de conjunto sobre dispositivos y procedimientos para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente, mediante análisis de una señal oscilatoria provocada por el movimiento y captada por un sensor, se encuentra en "Schwingungsdiagnostische Beurteilung von Maschinen und Anlagen" de Ulrich Klein, editado por Verein für Betriebsfestigkeitsforschung, Verlag Stahl-Eisen, Düsseldorf 1998, véase en particular el capítulo 6.1, donde se discute el análisis de oscilaciones de rodamientos. El modo de proceder habitual consiste en que un sensor de oscilaciones es acoplado fijamente al cojinete o a un alojamiento de máquina correspondiente, cuya señal es amplificada, en que la señal oscilatoria amplificada es sometida a una formación de envolvente, por ejemplo mediante filtrado de paso de banda, rectificación y filtrado de paso bajo subsiguiente, y se forma el espectro de frecuencias de la señal de envolvente, que es analizado finalmente, para extraer consecuencias relativas a daños en el rodamiento. Son conocidos sin embargo también procedimientos de evaluación en el dominio de tiempo, tales como por ejemplo análisis de la envolvente en el dominio de tiempo, análisis de intensidad de oscilaciones, así como análisis estadístico de la señal temporal.

Ejemplos para la evaluación de la señal de envolvente en el dominio de tiempo se encuentran en los documentos US 4 007 630 y US 3 554 012, en que en ambos casos son analizadas esencialmente las amplitudes. Es conocido además un procedimiento en el cual valores extremos relativos de la señal oscilatoria filtrada por paso de banda, rectificadas y filtradas por paso bajo son hallados y almacenados, en que el valor de intensidad de cada uno de los sucesos registrados es multiplicado por el registrado anteriormente y los valores de producto resultantes y las diferencias temporales que están en la base son aportados a un análisis de frecuencia. La distribución de frecuencia obtenida es sometida entonces según criterios prefijados a un reconocimiento de patrones. Es conocido además a partir del documento DE 197 02 234 A1 un procedimiento para el análisis de espectros de frecuencia en partes móviles de máquina. Ahí no se analizan señales temporales. En el documento WO 99/25921 son analizadas en cuanto a la existencia de defectos señales oscilatorias mediante comparación entre sí o con una señal de un cuentarrevoluciones o respectivamente un velocímetro.

Los procedimientos de análisis de frecuencia puros tienen la desventaja inherente de que sólo una parte de la información contenida en la señal temporal original está contenida en el espectro y puede ser evaluada.

En un análisis de una señal temporal de elementos de máquina que se mueven cíclicamente se plantea el problema de que a la señal de interés, por ejemplo a las excitaciones procedentes de un daño en el anillo exterior en un rodamiento, que se presentan con la frecuencia de rodadura del anillo exterior, están superpuestas por regla general una multiplicidad de señales con otras periodicidades o respectivamente frecuencias, por ejemplo la frecuencia de rotación del árbol, de forma que estas señales son difícilmente reconocibles incluso tras una formación de envolvente en el dominio de tiempo. Otro problema consiste en que la periodicidad del componente de señal de interés a menudo no es conocida en absoluto con precisión. Así, por ejemplo en un rodamiento radial, la frecuencia de rodadura del anillo exterior depende no sólo del número de revoluciones del árbol, sino también del ángulo de presión, es decir de la carga axial del cojinete.

Constituye una tarea de la presente invención crear un procedimiento o respectivamente un dispositivo para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente, el cual haga posible un análisis más completo que hasta ahora de las informaciones contenidas en una señal provocada por el movimiento de los elementos de máquina. Constituye también una tarea de la presente invención crear un procedimiento eficaz y flexible para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, así como un dispositivo correspondiente.

La tarea es resuelta conforme a la invención mediante un procedimiento según la reivindicación 1 o respectivamente 3 así como un dispositivo según a la reivindicación 6.

En la solución conforme a la invención según la reivindicación 1, 3 o respectivamente 7 es ventajoso que mediante la separación de un componente de señal con un periodo ajustable es posible un análisis más preciso y completo de la señal, ya que por ejemplo elementos de máquina diferentes se diferencian por duraciones de periodo características diferentes, en las cuales son esperables señales de daños significativas. Así, por ejemplo en un rodamiento los componentes de señal provocados por daños en el anillo exterior, daños en cuerpos de rodadura y daños en el anillo interior aparecen por regla general con duraciones de periodo diferentes. Una separación posible conforme a la invención de estos componentes de señal permite entonces un análisis de daños detallado. Los documentos US 5.109.700 y US 4.931.949 muestran procedimientos para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente, en que un sensor capta una señal, a partir de la cual es separado un componente con periodo ajustable. No está prevista una memoria anular rotatoria para la señal.

Los elementos de memoria actúan preferentemente de forma respectiva como paso bajo para la señal de entrada, en que este efecto puede ser reproducido digitalmente. Preferentemente, la memoria anular está conformada digitalmente, en que los elementos de memoria están conformados como acumuladores de acceso cíclico. La adaptación de frecuencia de la rotación de la memoria anular puede producirse por un lado mediante el recurso de que la duración del periodo de los componentes de señal buscados es hallada a partir de la señal, por ejemplo mediante análisis de tonos de búsqueda, transformación de Fourier o análisis de Cepstrum, y la memoria es girada con la frecuencia así hallada. Alternativamente, la rotación de la memoria anular puede sincronizarse directamente con la señal de entrada, en que esto puede producirse por ejemplo mediante un regulador de fase, en que los contenidos de los elementos de memoria son multiplicados por la derivada de la señal de entrada y el resultado es acumulado y en determinados momentos la frecuencia de rotación de la memoria anular es modificada correspondientemente al valor acumulado. Preferentemente, la forma de la señal de entrada es procesada entonces para la sincronización, pudiendo tratarse de un filtrado de paso bajo, o se restan de la señal de entrada mediante una memoria anular rotatoria adicional componentes que no tienen la duración de periodo de los componentes de señal buscados.

Preferentemente se emplean las soluciones conforme a la invención para el análisis de oscilaciones de elementos de máquina, pudiendo tratarse de rodamientos, engranajes o de rodillos para la fabricación continua de un producto, los cuales estampan la superficie del producto. En caso de empleo para un rodamiento, el anillo exterior, el anillo interior y/o los cuerpos de rodadura son asociados respectivamente a un filtro de formas periódicas, cuyas frecuencias de rotación corresponden a la frecuencia de rodadura del anillo exterior, a la frecuencia de rodadura del anillo interior o respectivamente a la frecuencia de rodadura de los cuerpos de rodadura. Preferentemente, la señal de salida de los respectivamente otros filtros de formas periódicas es retirada entonces de la señal, antes de ser suministrada como señal de entrada al respectivo filtro de formas periódicas, para restar componentes de señal que tienen la "falsa" periodicidad. Preferentemente está previsto en este caso un filtro de formas periódicas adicional, que está sincronizado con el número de revoluciones del árbol y cuya señal de salida es retirada de la señal, antes de ser suministrada como señal de entrada a los otros filtros de formas periódicas. Puede analizarse además la variación temporal del contenido de la memoria anular de los filtros de formas periódicas para el anillo exterior, el anillo interior o respectivamente los cuerpos de rodadura, para hallar un desequilibrio o respectivamente una carga uniforme que actúa sobre el cojinete. La suma de carga uniforme y desequilibrio puede hallarse entonces mediante el recurso de que en la señal de salida del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura se forma la relación entre las amplitudes de los componentes de señal procedentes del contacto con el anillo interior y del contacto con el anillo exterior.

Además, los filtros de formas periódicas pueden emplearse también para hallar, a partir de la frecuencia de rotación de las memorias anulares, las frecuencias de rodadura del anillo exterior, del anillo interior y de los cuerpos de rodadura y a partir de ello el ángulo de presión o respectivamente el ángulo de contacto del rodamiento. En vez de un filtro de formas periódicas común para todos los cuerpos de rodadura, cada cuerpo de rodadura puede estar asociado también individualmente a un filtro de formas periódicas.

Para afrontar un resbalamiento eventual de los cuerpos de rodadura fuera de la zona de carga, debe ajustarse la calidad del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura de tal modo que entre en concordancia en una revolución de jaula. En este caso, en cada revolución de jaula puede ser generada una imagen propia del contenido de la memoria anular, en que se halla el desplazamiento de fase de imágenes diferentes y las imágenes son corregidas en cuanto a este desplazamiento de fase y luego sumadas, para formar la señal de salida. Alternativamente, la fase de rotación de la memoria anular del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura puede ser controlada correspondientemente al ángulo de resbalamiento hallado, para compensar el resbalamiento de los cuerpos de rodadura. En este caso no es necesaria ninguna adición con desplazamiento de fase de imágenes individuales. Cuando no se lleva a cabo ni una corrección de fase de las señales o respectivamente imágenes ni una corrección de fase de la rotación de la memoria anular, el resbalamiento de los cuerpos de rodadura entonces desconocido puede ser compensado mediante el recurso de que la señal de salida del filtro de formas periódicas para los cuerpos de rodadura es clasificada según su amplitud, a partir de lo cual puede determinarse entonces la longitud de daños para los cuerpos de rodadura.

Estructuraciones preferidas adicionales de la invención resultan de las reivindicaciones subordinadas.

En lo que sigue se explica más detalladamente la presente invención con ayuda de los dibujos adjuntos, en que

- la figura 1 muestra un diagrama eléctrico equivalente analógico de un filtro de formas periódicas conforme a la invención;
- la figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de diagnóstico de rodamientos conforme a la invención;
- la figura 3 muestra una evolución a modo de ejemplo de la señal de salida de un filtro de formas periódicas de la figura 2;

- la figura 4 muestra una evolución a modo de ejemplo de la señal de salida de un filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura de la figura 2;
- la figura 5 muestra una evolución a modo de ejemplo de la señal de salida del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura de la figura 2 junto a una correspondiente evolución de señal clasificada por amplitud y junto a una distribución de frecuencia;
- la figura 6 muestra esquemáticamente un sistema de vigilancia de engranajes;
- la figura 7 muestra esquemáticamente un sistema de vigilancia para una instalación de trefilado;
- la figura 8 muestra esquemáticamente un sistema de vigilancia para objetos rotatorios incluyendo una representación simbólica del enlace de los filtros de formas periódicas empleados en este caso para un rodamiento;
- la figura 9 muestra una propuesta para una representación simbólica de filtros de formas periódicas;
- la figura 10 muestra otra forma de realización de un filtro de formas periódicas conforme a la invención;
- la figura 11 muestra una vista esquemática de la visualización de información de un analizador de señales con múltiples periodos;
- la figura 12 muestra a modo de ejemplo en diagrama polar la señal de salida de un filtro de formas periódicas, que está sincronizado con el periodo de rotación de la jaula de un rodamiento;
- la figura 13 muestra a modo de ejemplo en diagrama polar la señal de salida correspondiente de un filtro de formas periódicas, que está sincronizado con el periodo de rodadura del anillo exterior;
- la figura 14 muestra en representación lineal la señal de la figura 13 (curva A) y una señal de daños de anillo exterior adicional (curva B); y
- la figura 15 muestra una variación de la forma de realización representada en la figura 10.

En la figura 1 está mostrado esquemáticamente un diagrama eléctrico equivalente analógico de un dispositivo para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, el cual es denominado en lo que sigue "filtro de formas periódicas". La función esencial de un filtro de formas periódicas de este tipo consiste en separar a partir de una señal temporal, aplicada a la entrada 10, todos los componentes de señal que tengan una determinada periodicidad o respectivamente duración de periodo, y proporcionarlos por la salida 12. El elemento esencial de un filtro de formas periódicas de este tipo es en este caso una memoria anular 14, que tiene una pluralidad de elementos de memoria 16 dispuestos cíclicamente y "rota" con un periodo o respectivamente frecuencia de ciclo controlable o respectivamente regulable. Con ello se quiere indicar que los elementos de memoria 16 son unidos consecutivamente de forma respectiva a la entrada 10 a través de un nudo de acoplamiento 18 correspondientemente a la frecuencia de "rotación". La señal en la salida 12 es generada en el ejemplo de realización mostrado igualmente mediante el recurso de que la salida 12 es unida a los distintos elementos de memoria 16 a través del nudo de acoplamiento 18 correspondientemente a la frecuencia de rotación de la memoria anular 14. Este acoplamiento o respectivamente desacoplamiento no tiene que producirse sin embargo a través del mismo nudo de acoplamiento 18, sino que pueden estar previstos también dos nudos de acoplamiento separados para la entrada y la salida.

El concepto "rotación", en lo que respecta a la memoria anular, hay que referirlo en general a la secuencia de acceso de los elementos de memoria y no significa de ningún modo que los elementos de memoria tengan que rotar acaso físicamente. Antes bien se quiere indicar que se accede a los elementos de memoria, es decir que éstos son unidos a la entrada, cíclicamente con una determinada duración de ciclo, en que un ciclo sucede sin interrupciones al anterior.

Cada elemento de memoria 16 individual actúa como paso bajo para la señal de entrada que está aplicada respectivamente en ese momento, en que en la figura 1 los elementos de memoria 16 están representados como condensadores C, que forman con una resistencia R conectada en la vía de entrada respectivamente un paso bajo. Si se supone que en el ejemplo de la figura 1 están contenidos Z elementos de memoria 16 en la memoria anular 14, entonces el filtro de formas periódicas actúa en conjunto como paso bajo con una constante temporal $\tau = Z \cdot R \cdot C$.

El modo de funcionamiento básico del filtro de formas periódicas se explicará con el siguiente ejemplo sencillo. Cuando a la entrada está aplicada una señal, que junto a un componente de señal con un periodo T tiene otros componentes de señal que o bien son no periódicos o bien tienen una duración de periodo diferente a T, una rotación de la memoria anular 14 con la duración de giro T provoca entonces que, existiendo una sincronización de fase, los sucesos con la duración de periodo T incidan sobre el mismo elemento de memoria 16 para cada ciclo de la memoria anular 14 y hagan crecer gradualmente su contenido (en el ejemplo de la figura 1, aumenta entonces

respectivamente la carga almacenada en el correspondiente condensador C y con ello la tensión eléctrica que puede derivarse). Los sucesos que por el contrario no tienen la periodicidad T, inciden en cada ciclo de la memoria anular 14 en elementos de memoria 16 diferentes y son “extraídos por promediado” de este modo a partir de la señal de entrada o respectivamente sólo contribuyen a una base uniforme. Tras un determinado número de vueltas de la memoria anular 14, que depende de la calidad del paso bajo formado por la memoria anular 14, en la memoria anular 14 está contenida, en forma de carga o respectivamente tensión eléctrica almacenada en los elementos de memoria 16, esencialmente sólo una imagen de este componente de señal con la duración de periodo T, de modo que en la salida 12 aparece esencialmente ya sólo este componente de señal, mientras que los restantes componentes de señal han sido eliminados por filtrado. Tan pronto como el filtro de formas periódicas ha “entrado en concordancia” completamente, es decir tan pronto como la señal ha sobrepasado un determinado valor umbral o ha alcanzado un máximo en la salida 12, el contenido de la memoria anular 14 es reproducido fuera, es decir almacenado en una memoria estática.

Un requisito esencial para la eficacia del filtro de formas periódicas es la elección de la frecuencia de rotación correcta de la memoria anular 14, consiguiéndose una separación óptima de un componente de señal buscado con una duración de periodo T sólo cuando el periodo de rotación de la memoria anular 14 coincide con este periodo T buscado. Un problema en este caso es que la duración de periodo T buscada o bien no es conocida o bien no es conocida exactamente o no es constante. Una posibilidad para la solución de este problema consiste en hallar la duración de periodo buscada por ejemplo mediante un análisis de tonos de búsqueda o un análisis de Fourier, por ejemplo mediante búsqueda de ondas fundamentales y armónicas mediante análisis de Cepstrum, y controlar correspondientemente la frecuencia de rotación de la memoria anular 14. Esta solución es apropiada en particular para una duración de periodo buscada esencialmente constante, en que sin embargo el análisis descrito de la señal de entrada puede realizarse también continuamente o a intervalos de repetición determinados.

Fundamentalmente, en particular en caso de una duración de periodo buscada variable, es también posible y conveniente sincronizar directamente con la señal de entrada la rotación de la memoria anular 14 mediante una regulación. Esto puede producirse por ejemplo conforme a la figura 1 mediante una disposición de sincronización 20, la cual comprende un diferenciador 22, compuesto por un condensador y una resistencia, un multiplicador 24 así como un acumulador 26. En este caso, los contenidos de los elementos de memoria 16 son aportados mediante el nudo de acoplamiento 18 a la unidad de sincronización 20 que actúa como regulador de fase y son multiplicados mediante el multiplicador 24 por la señal de entrada derivada por el diferenciador 22, siendo acumulado el resultado en el acumulador 26. El contenido de este acumulador es empleado entonces para modificar correspondientemente en determinados momentos la frecuencia de rotación de la memoria anular 14. Esto puede producirse por ejemplo mediante el recurso de que en determinados momentos la frecuencia de rotación es aumentada o respectivamente reducida en un valor que es proporcional al contenido del acumulador 26, siendo escogida la constante de proporcionalidad de tal modo que el circuito de regulación es estable. Como momento puede escogerse entonces por ejemplo cada ciclo n-ésimo de la memoria anular 14. El factor de proporcionalidad es ajustable mediante una resistencia variable indicada por 28.

Para facilitar el comienzo de la sincronización de periodos o afrontar una pérdida de la sincronización de periodos, puede aumentarse la frecuencia de corte de paso bajo de la memoria anular 14, en que la señal de entrada es debilitada y/o filtrada por paso bajo. Esto está indicado por una resistencia variable 30, que una vez realizada la sincronización es ajustada a infinito.

Es conveniente fundamentalmente para la sincronización que la señal de entrada sea preparada correspondientemente para la disposición de sincronización, por ejemplo mediante la adición de flancos mediante un filtrado de paso bajo. Puede ser conveniente entonces que a partir de la señal de entrada y para la sincronización sean retirados mediante otro filtro de formas periódicas componentes que no tienen ninguna periodicidad en el intervalo de la duración de periodo buscada.

Cuando en lo que respecta al componente de señal buscado se trata de una forma de señal modulada en amplitud, debería hallarse la modulación y desmodularse la señal (cuando el componente de señal buscado está modulado en amplitud, el contenido o respectivamente la salida de la memoria anular 14 fluctúa por lo demás correspondientemente). Alternativamente puede emplearse también la función de reproducción anteriormente descrita del contenido de la memoria anular para una señal de salida máxima de la memoria anular, para reproducir en un máximo la señal buscada modulada en amplitud.

Como procedimiento para el tratamiento previo o preparación de la señal entran en consideración en general, junto a procedimientos de desmodulación, entre otros una transformada de Fourier o una transformada de ondículas (*wavelet*) o un procedimiento basado en uno o varios procesos de filtrado. Con fines de desmodulación pueden aplicarse entre otras cosas una rectificación con formación de envolvente, que puede llevarse a cabo analógica o digitalmente, una transformada de Hilbert, una transformada de ondículas para la determinación de intensidades de banda lateral a una frecuencia de portadora con tratamiento subsiguiente de la información así determinada, así como métodos que combinan una señal original con derivadas y/o integrales temporales.

Un filtrado previo empleando ondículas puede producirse por ejemplo teniendo en cuenta los siguientes razonamientos: si una señal discretizada en el tiempo (es decir muestreada) es tratada con una función de ventana o de correlación sencilla, pueden separarse de modo sencillo componentes de frecuencia alta y baja de una señal de este tipo. Si como ventana se emplea una función que realiza por ejemplo para dos muestras una convolución con (+1, +1), se obtiene mediante un promediado así un comportamiento sencillo de paso bajo, lo que lleva a componentes espectrales de baja frecuencia. Una convolución con la función (-1, +1) aparta por el contrario componentes de alta frecuencia. Este modo de proceder puede interpretarse por un lado como aplicación de filtros digitales FIR (del inglés "Finite Impulse Response", de respuesta finita al impulso) a una señal discretizada en el tiempo, por otro lado puede reconocerse también una similitud con transformadas de Hadamard, Haar o Walsh. Este modo de proceder se compara correspondientemente también con la aplicación de dos funciones básicas de ondícula seleccionadas para este fin, que sin embargo ahora tienen un intervalo de valores continuo de los valores de función. La "convolución" de la señal original con una primera función de ondícula más bien de baja frecuencia lleva a señales de salida de baja frecuencia, que pueden ser aportadas entonces al filtro de formas de correlación anular. La aplicación de una función básica de ondícula temporalmente corta proporciona entonces componentes de señal de alta frecuencia para un empleo correspondiente adicional.

En cuanto a la figura 1 se trata de un diagrama eléctrico equivalente analógico para un filtro de formas periódicas. Se entiende que el filtro de formas periódicas puede estar realizado fundamentalmente también en forma analógica, en que en cuanto al ejemplo de la figura 1 se trataría entonces de una disposición rotatoria de condensadores en lo relativo a la memoria anular. Las funciones analógicas pueden estar reproducidas sin embargo también digitalmente, siendo preferido esto. La memoria anular está realizada sin embargo preferentemente de forma digital, en que los elementos de memoria están conformados como acumuladores de acceso cíclico y la señal de entrada es digitalizada con una tasa de muestreo que corresponde al producto de la frecuencia de rotación y el número de elementos de memoria. Preferentemente se trata en este caso de una matriz de memoria anular compuesta por 2^n elementos, cuyo contador de escritura-lectura es incrementado en el valor redondeado que resulta del número de elementos dividido por la tasa de muestreo dividido por la duración de periodo buscada o periodo de "rotación" de la memoria anular. En esta realización digital, el contador "rota" por lo tanto sobre los elementos de memoria. La profundidad de memoria resulta entonces como producto de la tasa de muestreo y la duración de periodo. Para una tasa de muestreo constante, una modificación de la duración de periodo o respectivamente la frecuencia de rotación lleva entonces a una modificación correspondiente tanto de la profundidad de memoria como también del incremento. Correspondientemente, en la sincronización de la frecuencia de rotación con la duración de periodo buscada puede ser modificado el incremento o la profundidad de memoria, es decir en el caso del regulador de fase 20 de la figura 1 se suma o respectivamente se resta a la profundidad de memoria anular un valor proporcional al contenido del acumulador 26 o el incremento es modificado en un valor proporcional al contenido del acumulador 26.

En la realización digital, el filtro de formas periódicas puede estar conformado de tal modo que en el elemento de memoria correspondiente es acumulado adicionalmente de forma respectiva el valor medio de la señal de entrada aplicada durante el intervalo de muestreo correspondiente.

Se entiende que un filtro de formas periódicas puede emplearse también para eliminar de forma selectiva de una señal un componente de señal con un determinado periodo, mediante el recurso de que la salida del filtro de formas periódicas es retirada de la señal de entrada. Además, en caso de que tengan que ser separados varios componentes de señal con diferente periodicidad, pueden emplearse correspondientemente varios filtros de formas periódicas distintos con frecuencia de rotación diferente, en que las salidas de los respectivamente otros filtros de formas periódicas pueden ser retiradas de la señal de entrada para un determinado filtro de formas periódicas, con el fin de facilitar la separación del componente de señal con la periodicidad correspondiente.

En vez de la realización, mostrada en la figura 1, de la sincronización directa del filtro de formas periódicas con la señal de entrada mediante el regulador de fase 20, puede emplearse por ejemplo también la solución mostrada en la figura 10. En este caso se emplean tres filtros de formas periódicas o respectivamente memorias anulares 303, 302, 301 en vez de uno solo, los cuales rotan paralelamente con un periodo o respectivamente frecuencia de rotación ligeramente diferente (la disposición mostrada en la figura 10 puede considerarse igualmente como filtro de formas periódicas único con tres memorias anulares o como combinación de tres filtros de formas periódicas con respectivamente una memoria anular). Aquí está previsto un nudo de acoplamiento 300 común, para aportar la señal de entrada paralelamente a todos los filtros de formas periódicas 303, 302, 301 y tomar de cada uno de los filtros de formas periódicas 303, 302, 301 separadamente la señal de salida, que es conducida a una unidad 305. La unidad 305 actúa por un lado como etapa de selección, que proporciona en la salida 306 respectivamente la señal de salida de aquel filtro de formas periódicas que ofrece momentáneamente la señal de salida con la máxima amplitud, es decir el filtro de formas periódicas con la señal de salida máxima es seleccionado respectivamente como filtro de formas periódicas actual o respectivamente "válido". Además de ello, la unidad 305 actúa como regulador para las duraciones de periodo o respectivamente frecuencias de rotación, mediante el recurso de que controla mediante una unidad 304 las frecuencias de rotación de los filtros de formas periódicas 303, 302, 301 de tal modo que el filtro de formas periódicas actual, es decir aquél con la amplitud de señal de salida momentáneamente más grande, es el filtro de formas periódicas con la duración de periodo de rotación intermedia (en la figura 10 éste es el filtro de formas periódicas 302). En este caso, las duraciones de periodo de rotación de todos los filtros de formas periódicas

303, 302, 301 son modificadas respectivamente en el mismo sentido, es decir que o bien son reducidas conjuntamente cuando se ha obtenido como filtro de formas periódicas actual el filtro de formas periódicas 301 con el periodo de rotación más corto, o bien son aumentadas conjuntamente cuando se ha obtenido como filtro de formas periódicas actual el filtro de formas periódicas 303 con el periodo de rotación más largo. El incremento puede ser entonces igual o diferente para todos los filtros de formas periódicas, pero convenientemente es sin embargo como máximo tan grande como la diferencia de periodo entre dos filtros de formas periódicas "contiguos". Cuando se ha obtenido como filtro de formas periódicas actual el filtro de formas periódicas 302 con el periodo de rotación intermedio, las duraciones de periodo no son modificadas. La obtención del filtro de formas periódicas actual se produce por ejemplo tras cada ciclo. Como sólo hay un elemento integrador, a saber el filtro de formas periódicas (actual) o respectivamente su efecto de paso bajo, la regulación propuesta es estable. La unidad 305 provoca por lo tanto que los filtros de formas periódicas 303, 302, 301, y aquí en particular el filtro de formas periódicas 302 con la duración de periodo intermedia, sean regulados o respectivamente sincronizados con la duración de periodo de los componentes de señal de interés, de forma que no es necesaria ninguna otra disposición de sincronización, siendo proporcionada además en la salida 306 también respectivamente la señal correcta, es decir la que mejor se ajusta. El concepto de regulación descrito no está limitado al empleo de tres filtros de formas periódicas, sino que pueden emplearse también más filtros de formas periódicas, realizándose la regulación correspondientemente sobre un o sobre el filtro de formas periódicas con una duración de periodo intermedia.

En la figura 10 se muestran filtros de formas periódicas realizados digitalmente, en que la modificación de la duración de periodo de rotación se produce por modificación de la profundidad de memoria Z y las profundidades de memoria de los filtros de formas periódicas 303, 302, 301 se diferencian en uno. En un bucle de regulación, las profundidades de memoria individuales son aumentadas o respectivamente reducidas en uno. La calidad de los filtros de formas periódicas 303, 302, 301 se ajusta en el orden de magnitud de N.

En la figura 15 está representada una variación de la forma de realización mostrada en la figura 10, en que un tratamiento previo de la señal de entrada procedente por ejemplo de un sensor se produce mediante una etapa dotada del número de referencia 310. Las posibilidades fundamentales de tratamiento previo de señal en la etapa 310 han sido explicadas ya en conexión con la descripción de la forma de realización según la figura 1. La figura 15 muestra ahora la posibilidad de que la frecuencia de muestreo, mantenida de forma variable en el modo anteriormente indicado para fines de sincronización, de los filtros de formas periódicas 301, 302, 303 pueda emplearse simultáneamente como frecuencia de muestreo para los procesos de tratamiento previo de señal que se producen en la etapa 310.

Alternativamente puede trabajarse con frecuencias de muestreo ajustadas de forma fija, trabajándose entonces para la sincronización con un número variable de células de memoria anular.

Con el principio de sincronización descrito puede realizarse por ejemplo un osciloscopio con búsqueda automática de periodo, desapareciendo entonces la condición de disparo a menudo complicada para la señal interna en osciloscopios habituales.

Además, el concepto con varios filtros de formas periódicas "paralelos" puede ser desarrollado también en el sentido de que para un osciloscopio o respectivamente analizador de señales esté prevista una multiplicidad de filtros de formas periódicas con duraciones de periodo respectivamente sólo ligeramente diferentes, para cubrir con una determinada calidad un determinado intervalo de duraciones de periodo, por ejemplo con la extensión de una octava (factor 2). La calidad de los distintos filtros de formas periódicas puede corresponder entonces a aproximadamente la profundidad de memoria respectiva. En caso de que el "periodo central" esperable sea conocido de forma suficientemente precisa y sea estable, puede renunciarse a un seguimiento de duración de periodo como el descrito anteriormente, y las duraciones de periodo de rotación son prefijadas o respectivamente ajustadas. Por lo demás se regula respecto a un filtro de formas periódicas con una duración de periodo intermedia, es decir las duraciones de periodo son modificadas conjuntamente de tal modo que este filtro de formas periódicas tiene la máxima señal de salida.

Los contenidos o respectivamente las señales de salida de los distintos filtros de formas periódicas son representados entonces por ejemplo de forma reducida en una pantalla (véase la figura 11) y el usuario, para el análisis o respectivamente la evaluación de señales, puede extraer por zoom selectivamente determinados filtros de formas periódicas y seleccionar el "mejor" filtro de formas periódicas para un análisis de señales adicional. La selección puede producirse sin embargo también automáticamente, en que convenientemente se escoge el filtro de formas periódicas con la mayor señal de salida. En conjunto, este "concepto de múltiples periodos" representa una solución muy amigable para el usuario.

En vez de mediante filtros de formas periódicas con memoria anular rotatoria, la separación de componentes de señal con una duración de periodo determinada puede producirse en general también mediante el recurso de que una señal es dividida en segmentos con respectivamente una duración determinada que corresponde aproximadamente a la duración de periodo buscada, es hallado el desplazamiento de fase de los segmentos de señal entre sí, los segmentos de señal son corregidos en lo relativo al desplazamiento de fase y los segmentos de

señal así corregidos en fase son sumados, para obtener los componentes de señal buscados con la duración de periodo buscada. Los segmentos de señal pueden sucederse entonces sin interrupciones o, cuando ya se conoce que para un determinado intervalo de tiempo de señal no se puede esperar ningún componente de señal “de interés”, puede renunciarse en este intervalo de tiempo a la captación de segmentos de señal, empleándose entonces convenientemente un disparo.

En la corrección de fase puede procederse de tal modo que es hallado el desplazamiento de fase entre el primer y el segundo segmento de señal y luego son sumados con corrección de fase el primer y el segundo segmento de señal, y la señal de suma así obtenida es almacenada, en que este procedimiento es repetido iterativamente para los restantes segmentos de señal con la medida de que la señal de suma asume el papel del primer segmento de señal y el segmento de señal respectivamente tratado actualmente asume el papel del segundo segmento de señal. El desplazamiento de fase puede ser hallado respectivamente hallando el máximo de la correlación entre las señales o respectivamente segmentos en cuestión, en que en caso de segmentos que se suceden sin interrupciones es determinado convenientemente el máximo de la correlación anular. Preferentemente, el peso de un segmento de señal en la suma es baremado según el valor del máximo de correlación respectivamente hallado, para tener en cuenta con menor peso en la suma segmentos de señal mal correlacionados. La suma de los máximos de correlación hallados es una medida para la fiabilidad de la señal de suma hallada a partir de los segmentos. La duración de periodo buscada puede ser comprobada regularmente y las duraciones de segmentos de señal pueden ser adaptadas dado el caso a variaciones de la duración de periodo buscada.

El efecto del procedimiento consiste por lo tanto en separar a partir de una señal, que contiene segmentos con una duración de periodo en sí coincidente pero con una relación de fase desconocida, mediante extracción de estos segmentos y superposición correcta en cuanto a fase, todos los componentes de señal con esta duración de periodo. Un resultado relevante puede obtenerse entonces incluso cuando la duración de segmentos no coincide exactamente con la duración de periodo.

La división en segmentos puede producirse por ejemplo una vez captada la señal, es decir todo el tren de señal es almacenado antes de la evaluación, o la división o respectivamente formación de segmentos se produce ya durante la captación de la señal. En este último caso, la captación de señal puede producirse mediante una memoria anular, por ejemplo conforme a la figura 1, en que la duración de rotación es ajustada a la duración de periodo buscada, pero los segmentos de señal individuales no son sumados o respectivamente acumulados sin corregir, sino que la memoria anular es leída tras cada ciclo y es reinicializada, en que la “imagen” leída de la memoria anular representa entonces respectivamente el segmento de señal actual, que es sumado en una segunda memoria a la señal de suma ya existente obtenida a partir de las “imágenes” precedentes, en que sin embargo antes de la suma y como se ha descrito anteriormente es hallada la posición de fase relativa, por ejemplo hallando el máximo de correlación, y es corregida dado el caso, y se produce el pesado en la suma por ejemplo correspondientemente al máximo de correlación. Aquí existen por lo tanto en último término dos memorias anulares, de modo que un filtro de formas periódicas así puede ser considerado también como filtro de formas periódicas con dos planos (complejidad 2), en que finalmente la señal de suma de interés no existe como contenido de la primera memoria anular, que toma directamente la señal, sino como contenido de la segunda memoria anular, en la que se forma la suma, corregida en fase, de los periodos individuales, a través de lo cual puede realizarse un filtro de formas periódicas corregido automáticamente en fase.

Para la reducción del esfuerzo de cálculo, este principio puede ser modificado de tal modo que no se produce el cálculo completo de la función de correlación, es decir para todas las diferencias de fase, sino sólo para diferencias de fase pequeñas, de modo que para cada segmento sólo se halla la tendencia del desplazamiento de fase, es decir si va hacia atrás o hacia delante, lo que es suficiente al menos cuando aparecen sólo diferencias de fase pequeñas. Correspondientemente, el desplazamiento del segmento actual se produce antes de la suma en el sentido de la mayor correlación, es decir sólo se halla por así decir el máximo relativo de correlación para diferencias de fase pequeñas. En cierto modo, este modo de proceder “diferencial” sólo considera la derivada de la correlación. Este principio puede adoptarse también para la sincronización de un filtro de formas periódicas, mediante el recurso de que el filtro de formas periódicas “nota” el desplazamiento de fase respectivamente hallado y la fase o respectivamente la duración de rotación es correspondientemente seguida.

Los filtros de formas periódicas son apropiados particularmente para hallar daños en elementos de máquina que se mueven cíclicamente, en particular rotatorios, ya que los daños conducen por regla general en una señal provocada por el movimiento y captada por un sensor, en particular en una señal oscilatoria, a componentes de señal con una periodicidad característica para el respectivo elemento de máquina, en que sin embargo estos componentes periódicos de señal de interés por regla general están superpuestos a componentes de señal con otra periodicidad o a componentes no periódicos de señal. En este caso pueden emplearse filtros de formas periódicas, para eliminar componentes de señal con una periodicidad determinada (perturbadora) a partir de la señal a analizar, o pueden emplearse para separar un componente de señal de interés con un periodo ajustable a partir de la señal, para someter este componente a un análisis de daños.

En la figura 2 se muestra a modo de ejemplo el empleo de filtros de formas periódicas en un sistema de diagnóstico de rodamientos. En cuanto a los elementos de rodamiento a vigilar se trata del anillo exterior 50, del anillo interior 52 así como de los cuerpos de rodadura 54, en que el anillo exterior 50 y el anillo interior 52 están asociados respectivamente a un filtro de formas periódicas 56 o respectivamente 58, mientras que los cuerpos de rodadura 54 están asociados en conjunto a un filtro de formas periódicas 60. Las frecuencias de rotación de los filtros de formas periódicas 56, 58 y 60 corresponden a la frecuencia de rodadura del anillo exterior, a la frecuencia de rodadura del anillo interior o respectivamente a la frecuencia de rodadura de los cuerpos de rodadura.

Un captador de oscilaciones 62 está acoplado fijamente al anillo exterior 50, para convertir sus oscilaciones en una señal oscilatoria eléctrica correspondiente. La señal oscilatoria así generada es aportada a una etapa de preparación de señales 64 y a continuación a una etapa de filtrado 66, en la cual se produce un filtrado de paso de banda y una desmodulación o respectivamente formación de envolvente, por ejemplo mediante uno o varios detectores de valores punta. El filtro de paso de banda 66 puede ser ajustado entonces de tal modo que resulta una amplitud máxima de señal de salida del filtro de formas periódicas para anillo interior 58.

Una señal de daños se produce por el hecho de que un cuerpo de rodadura 54 rueda sobre un daño en la superficie de rodadura del anillo exterior o en la superficie de rodadura del anillo interior, o una zona dañada del perímetro de un cuerpo de rodadura rueda justamente sobre la superficie de rodadura del anillo exterior o sobre la superficie de rodadura del anillo interior, siendo desviado en todos los casos el cuerpo de rodadura 54 y sufriendo entonces una fuerza correspondientemente a la rigidez del contacto con el anillo interior 52 o respectivamente el anillo exterior 50, en que correspondientemente a la función de transferencia se genera para la desviación del cuerpo de rodadura una señal de aceleración, que es captada finalmente por el sensor 62. La señal recogida es "distorsionada" con ello mediante esta función de transferencia dependiente de la frecuencia, y sólo conociendo la función de transferencia puede ser asociada exactamente a la profundidad del daño y a la forma del daño. Preferentemente se desarrolla por ello un modelo dinámico del cojinete montado y de los elementos de máquina acoplados, para hallar la función de transferencia y reconstruir la señal de daños real en lo posible, antes de ser analizada.

Como esta función de transferencia es diferente en función de si la señal de daños es generada por un contacto entre cuerpo de rodadura y anillo interior o entre cuerpo de rodadura y anillo exterior, la función de transferencia es hallada para ambos casos, en que entonces en la etapa de preparación de señales está previsto respectivamente un filtro de frecuencia, es decir un filtro de paso de banda, cuya función de transferencia está escogida justamente de tal modo que es compensada la función de transferencia hallada de la señal de daños. De este modo, la señal es dividida en la etapa 64 en dos ramas con diferente preparación (no representado en la figura 2), en que una de las ramas es aportada al filtro de formas periódicas para anillo exterior 56 y la otra al filtro de formas periódicas para anillo interior 58. El filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 60 puede estar previsto en realización doble, en que a cada uno de los dos filtros de formas periódicas es aportada entonces una de las dos ramas de señal corregidas diferentemente en cuanto a respuesta de frecuencia.

Preferentemente, a continuación de la etapa de filtrado 66 viene un filtro de formas periódicas, que está sincronizado con la frecuencia de giro del árbol del cojinete y cuya señal de salida es retirada de la señal suministrada por la etapa de filtrado 66, para separar componentes perturbadores con la periodicidad del árbol a partir de la señal a analizar (no representado en la figura 2). Tras ello, la señal oscilatoria es multiplicada por una señal procedente de la unidad 68, que debe compensar las consecuencias de una carga uniforme o un desequilibrio sobre la señal. Finalmente, la señal oscilatoria es aportada a cada uno de los filtros de formas periódicas 56 hasta 60, en que sin embargo previamente son retiradas respectivamente las señales de salida de los otros dos filtros de formas periódicas 56 hasta 60, para facilitar para cada filtro de formas periódicas 56 hasta 60 la separación del componente de señal con "su" periodicidad. Los filtros de formas periódicas 56 hasta 58 están sincronizados preferentemente, por ejemplo mediante un regulador de fase tal como el descrito en la figura 1, directamente con la señal de entrada respectiva, para compensar de forma sencilla variaciones del número de revoluciones del árbol y variaciones del ángulo de presión o respectivamente del ángulo de contacto del cojinete por variaciones de carga. En particular pueden ser halladas de este modo también la frecuencia de rodadura del anillo exterior, la frecuencia de rodadura del anillo interior y la frecuencia de rodadura del rodamiento, hallando la frecuencia de rotación del filtro de formas periódicas 56 hasta 60 correspondiente para el que la señal de salida respectiva es máxima. Como las frecuencias correspondientes dependen del ángulo de presión o respectivamente del ángulo de contacto, a partir de ello puede ser hallado el ángulo de contacto y con ello, por ejemplo en un cojinete radial, la carga axial. Nuevamente a partir de la variación de la carga axial, que aparece con el doble de la frecuencia del árbol, puede reconocerse un error de orientación eventual. Cuando además está previsto un filtro de formas periódicas 70 para la frecuencia de giro de la jaula, puede hallarse el resbalamiento de los cuerpos de rodadura a partir de la relación entre la frecuencia de giro de la jaula que puede ser hallada con ello y la frecuencia de giro del árbol. A partir de la evolución temporal de este resbalamiento pueden hacerse deducciones sobre el estado de lubricación del cojinete.

La señal de salida del filtro de formas periódicas para anillo exterior 56 representa en el caso ideal una imagen de la superficie de rodadura del anillo exterior, en que ésta sin embargo está promediada por segmentos correspondientemente al número de cuerpos de rodadura, es decir la señal de salida representa un promedio sobre

todos los segmentos. Esto es válido de igual modo para la señal de salida del filtro de formas periódicas para anillo interior 58.

La figura 3 muestra a modo de ejemplo la evolución de una señal de daños así del filtro de formas periódicas para el anillo exterior o el anillo interior. Para obtener información diagnóstica a partir de una señal así, pueden llevarse a cabo entre otras las siguientes operaciones. Es formada la amplitud media A_v de la señal. Como señal de daños son consideradas entonces todas las amplitudes que superan esta amplitud media A_v . A partir de estas amplitudes de daño es calculada entonces una amplitud de daño media S_{av} . Además es formada la amplitud de daño máxima Max . Es calculada una longitud de daños total GSL en porcentaje del periodo de daño o respectivamente del periodo de señal de daños, en que ésta puede ser definida por ejemplo como suma de todos los tiempos, durante los cuales la amplitud de daño es mayor que la amplitud de daño media S_{av} . En el ejemplo presente, la longitud de daños total tiene un valor de 28%. Puede ser formado un nivel de ruido básico R medio, para el cual se promedia sobre todas las amplitudes que son menores que la amplitud media A_v . Finalmente, puede ser formada la relación de la amplitud máxima al nivel de ruido básico. Convenientemente, la amplitud de daño máxima, la longitud de daños total, la amplitud de daño media así como el nivel de ruido básico pueden ser seguidos en lo que respecta a su variación temporal. Igualmente es seguida en el tiempo la forma de daño, es decir la forma de la señal de daños. Para las magnitudes citadas, en función del tipo de daño, del tipo de cojinete y del tipo de soporte pueden ser formados valores umbrales, para cuya superación se dispara una alarma. Convenientemente, la señal de daños es representada gráficamente de tal modo que el cero de tiempo está situado para el primer mínimo antes del máximo de amplitud.

La figura 4 muestra una evolución de señal de daños a modo de ejemplo del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 60. En contraposición con las señales de daños del anillo exterior y del anillo interior, la señal de daños de los cuerpos de rodadura muestra por regla general una estructura doble, que procede del hecho de que cada cuerpo de rodadura 54 por regla general rueda simultáneamente tanto sobre el anillo exterior 50 como también sobre el anillo interior 52, con lo cual una estructura de daño sobre la superficie de rodadura del cuerpo de rodadura genera durante un periodo de rodadura del cuerpo de rodadura 54 una señal de daños durante el contacto con el anillo exterior 50 y una segunda señal de daños similar durante el contacto con el anillo interior 52. La zona central en la figura 4 muestra entonces la señal de daños que procede del contacto con el anillo interior, mientras que las dos zonas de borde contienen la señal de daños que procede del contacto con el anillo exterior. Como la intensidad o respectivamente la amplitud de la señal del contacto con el anillo interior o respectivamente de la señal de contacto con el anillo exterior depende del acoplamiento entre los cuerpos de rodadura 54 y el anillo exterior 50 o respectivamente el anillo interior 52, puede emplearse la relación de amplitudes entre las dos señales para extraer consecuencias acerca de las relaciones de fuerza en el cojinete. En un cojinete radial puro sin carga uniforme ni desequilibrio debería desaparecer por ejemplo la amplitud del contacto con el anillo interior de la señal de daños de los cuerpos de rodadura, ya que los cuerpos de rodadura 54 no son presionados sobre el anillo interior 52, mientras que debería aparecer una señal de contacto con el anillo exterior correspondientemente a las fuerzas centrífugas, provocadas por la frecuencia de giro de la jaula, de los cuerpos de rodadura 54. El componente de fuerza centrífuga puede ser calculado sin embargo a partir del conocimiento de la geometría del cojinete y del número de revoluciones del árbol o respectivamente de la jaula. La señal de contacto con el anillo interior debería proceder por el contrario exclusivamente de la suma de la carga uniforme (radial) y del desequilibrio, de forma que a partir de la relación, a determinar a partir de la señal de daños de los cuerpos de rodadura, entre la amplitud del contacto con el anillo interior y la amplitud del contacto con el anillo exterior y a partir del conocimiento de la fuerza centrífuga puede ser calculada la suma de carga uniforme y desequilibrio. El filtro de paso de banda 66 para el filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 60 debería ser ajustado a la frecuencia de resonancia de los cuerpos de rodadura. Cuando existe un daño del anillo interior o un daño del anillo exterior, la frecuencia de resonancia de los cuerpos de rodadura puede ser hallada por modificación del filtro de paso de banda para el filtro de formas periódicas para anillo exterior 56 y el filtro de formas periódicas para anillo interior 58, observando la señal de salida correspondiente. Cuando es conocida la carga del cojinete, puede calcularse la frecuencia de resonancia de los cuerpos de rodadura. Cuando existe cualquier daño del cojinete, puede ser hallada la frecuencia de resonancia del cojinete, es decir la resonancia entre el árbol y el soporte de cojinete.

Es posible diferenciar entre señales de daños procedentes de una carga uniforme o de un desequilibrio fundamentalmente mediante un examen de la variación de la señal de daños con el tiempo, ya que un desequilibrio modula las señales de daños con una frecuencia distinta que una carga uniforme. Así, por ejemplo en un cojinete radial, en el que el árbol está fijado al anillo interior, la señal del anillo exterior no es modulada por una carga uniforme, pero es modulada por un desequilibrio con la frecuencia del árbol. La señal del anillo interior por el contrario es modulada por una carga uniforme con la frecuencia del árbol, mientras que no es modulada por el desequilibrio. La señal de los cuerpos de rodadura es modulada por el contrario tanto por un desequilibrio como por una carga uniforme, en que para un desequilibrio la señal es modulada con la diferencia entre la frecuencia del árbol y la frecuencia de la jaula, mientras que una carga uniforme modula la señal con la frecuencia de la jaula. Un análisis así de desequilibrios o respectivamente de cargas uniformes puede producirse por ejemplo mediante el recurso de que las señales de salida del filtro de formas periódicas para anillo exterior 56, del filtro de formas periódicas para anillo interior 58 y del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 60 son aportadas respectivamente a un

filtro de formas periódicas 72, 74 o respectivamente 76 adicional como señal de entrada, que está sincronizada con la frecuencia de giro del árbol.

5 El filtro de formas periódicas 70, que está sincronizado con la frecuencia de la jaula, recibe como señal de entrada una señal de salida, escalada al número de cuerpos de rodadura, del filtro de formas periódicas para anillo exterior 56 así como la señal de salida media del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 60, de lo cual pueden obtenerse informaciones acerca de la distribución de daños de los cuerpos de rodadura entre los distintos cuerpos de rodadura.

Para la evaluación directa de la señal de salida del filtro de formas periódicas 60 se toma la señal de salida máxima, que se refiere principalmente al cuerpo de rodadura 54 más fuertemente dañado.

10 Fundamentalmente, en caso de existencia de una carga uniforme y/o de un desequilibrio pueden extraerse consecuencias a partir de la señal de daños de los cuerpos de rodadura acerca de la distribución de los daños entre los distintos cuerpos de rodadura, ya que para una distribución de daños uniforme entre todos los cuerpos de rodadura ni un desequilibrio ni una carga uniforme provocan una modulación de la señal, mientras que una distribución de daños irregular, por ejemplo que esté dañado sólo un cuerpo de rodadura, provoca una modulación
15 máxima.

Un problema particular en la determinación y la evaluación de la señal de daños de los cuerpos de rodadura resulta cuando una carga uniforme o un desequilibrio actúa sobre el cojinete, de forma que el cuerpo de rodadura genera respectivamente sólo en la zona de carga una señal periódica y sufre fuera de la zona de carga un resbalamiento indefinido con relación al anillo interior, de modo que la señal que genera el cuerpo de rodadura al pasar dos veces consecutivamente por la zona de carga no tiene una relación de fase definida, es decir incluso en el caso de una frecuencia de rodadura constante de los cuerpos de rodadura en la zona de carga, formas de señal iguales tras varias revoluciones de los cuerpos de rodadura no caerían ya en los mismos elementos de memoria del correspondiente filtro de formas periódicas.

25 Este problema puede ser afrontado por un lado de tal modo que el filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 60 es ajustado con una calidad tan baja que entra en concordancia ya durante el movimiento del cuerpo de rodadura 54 en la zona de carga, pudiendo ser escogida la constante temporal por ejemplo de tal modo que corresponde al producto del periodo de jaula y del ángulo de carga dividido por 360° . Tan pronto como la señal de salida del filtro de formas periódicas 60 se hace máxima entonces, es generada una imagen. Como consecuencia de la baja calidad necesaria del filtro de formas periódicas 60 y de las pocas vueltas de cuerpos de rodadura que contribuyen a ello puede presentarse sin embargo el caso de que la imagen no sea suficientemente representativa para el análisis. En este caso debe promediarse sobre varias revoluciones del cuerpo de rodadura, planteándose sin embargo el problema de que las fases de las imágenes, así obtenidas, del filtro de formas periódicas no coinciden. Una posibilidad de solución consiste en que este desplazamiento de fase desconocido, es decir el resbalamiento del cuerpo de rodadura, sea hallado por ejemplo a partir del máximo de la correlación anular entre las distintas imágenes, que resultan respectivamente de un paso del cuerpo de rodadura por la zona de carga (es decir se halla en qué posición de fase es máximo el producto de imágenes consecutivas). A continuación, las distintas imágenes son desplazadas respectivamente en un valor igual al desplazamiento de fase hallado y son sumadas, guiándose el pesado según el valor máximo respectivamente hallado de la correlación, para tener en cuenta menos fuertemente señales mal correlacionadas. Tras cada paso del cuerpo de rodadura por la zona de carga es reiniciada entonces
35 la memoria anular del filtro de formas periódicas.

A partir del conocimiento del ángulo de resbalamiento o respectivamente del desplazamiento de fase respecto a la revolución del cuerpo de rodadura o respectivamente la revolución de la jaula puede controlarse también la sincronización, en este caso la fase de la rotación de la memoria anular del filtro de formas periódicas, para compensar el desplazamiento de fase o respectivamente el ángulo de resbalamiento. En este caso no es necesaria ninguna reiniciación del filtro de formas periódicas ni una generación de imágenes, sino que el filtro de formas periódicas puede operar sencillamente del modo habitual (dejando a un lado la corrección de fase de la rotación tras cada revolución de la jaula).

A partir del conocimiento de los ángulos de resbalamiento de los cuerpos de rodadura pueden realizarse eventualmente afirmaciones acerca del estado de lubricación. Diferencias de ángulo de resbalamiento entre los distintos cuerpos de rodadura apuntan a fallos de jaula, por ejemplo a cuerpos de rodadura aprisionados (los ángulos de resbalamiento de distintos cuerpos de rodadura pueden ser hallados mediante el recurso de que cada cuerpo de rodadura está asociado a un filtro de formas periódicas propio, como se explica a continuación más detalladamente).

55 Un planteamiento alternativo para hallar un daño de cuerpo de rodadura a partir de la señal de daños de los cuerpos de rodadura a pesar del resbalamiento de cuerpos de rodadura consiste en que se emplea un procedimiento de análisis de formas, que libera la forma respecto al ángulo de fase, es decir que el filtro de formas periódicas correspondiente opera sin corrección de fase. Para este fin pueden emplearse procedimientos conocidos, tales

como por ejemplo clasificación por amplitudes, análisis de sucesos, promediado, determinación del componente constante o respectivamente del componente variable, formación de valores efectivos, etc. Se prefiere sin embargo un procedimiento en el que la longitud de daños total es hallada mediante clasificación por amplitudes. Para la explicación de este procedimiento, en la figura 5 está representada a modo de ejemplo una señal de daños de cuerpos de rodadura obtenida sin corrección de fase, integrada o respectivamente promediada sobre varias revoluciones de jaula (línea continua fina en la figura 5). La señal hallada es clasificada entonces con respecto al tamaño de sus amplitudes individuales, es decir a la izquierda están las amplitudes más grandes y a la derecha las amplitudes más pequeñas (línea continua gruesa en la figura 5). A partir de esta distribución clasificada por amplitudes puede hallarse entonces una longitud de daños relativa, preferentemente mediante el recurso de que una función de compensación es adaptada a la distribución clasificada por amplitudes, por ejemplo según el método de la suma mínima de errores cuadráticos. La función de compensación puede escogerse de tal modo que contenga cuatro parámetros, que corresponden a la profundidad de daños, a la longitud de daños, a la amplitud de ruido o respectivamente a la forma de daños, en que en la figura 5 está indicada la longitud de daños así hallada.

Fundamentalmente, con el método conforme a la invención para separar componentes periódicos a partir de la señal oscilatoria de rodamiento medida no sólo puede obtenerse información acerca del estado del cojinete a partir de una señal provocada por un daño en superficies de rodadura (daño de anillo interior, de anillo exterior o de cuerpos de rodadura) y que aparece con un periodo característico, sino que también puede ser diagnosticado ya un cojinete aún no dañado en este sentido. Esto es posible con ayuda de la señal de ruido provocada también en un cojinete en orden por el movimiento de rodadura de los cuerpos de rodadura, ya que esta señal es modulada en cierta medida de modo característico por las fuerzas que actúan sobre el cojinete. Para ello se considerará como ejemplo un cojinete radial, que está cargado por una carga uniforme (peso) que actúa en la dirección radial, la cual forma un determinado ángulo respecto a la dirección del sensor de aceleración. Como sólo cuerpos de rodadura cargados por una fuerza generan una señal de ruido, una señal de ruido (o una señal de de daños) es generada esencialmente sólo en un determinado intervalo angular en torno a la dirección de la carga (la anchura de este intervalo angular depende entre otras cosas del hueco del cojinete, es decir de la holgura entre el anillo interior y el anillo exterior, y es tanto más pequeña cuanto mayor sea el hueco del cojinete), en que el sensor esencialmente sólo nota de esta fuerza un componente que está entre la dirección de carga y la dirección del sensor, es decir un determinado cuerpo de rodadura genera entonces sólo una señal esencial, cuando se encuentra justamente en este intervalo (esto es válido igualmente para señales de ruido y señales de daños). Este intervalo puede ser denominado según su forma en el diagrama polar también "lóbulo sensible".

En la figura 12 se muestra la señal de salida de un filtro de formas periódicas, que está sincronizado con el periodo de revolución de la jaula, mientras que en la figura 13 se muestra la señal de salida correspondiente de un filtro de formas periódicas que está sincronizado con el periodo de rodadura del anillo exterior, en que en la figura 13 el intervalo angular correspondiente al número de cuerpos de rodadura está representado de forma extendida en comparación con la figura 12 (es decir que está multiplicado por el número de cuerpos de rodadura). En ambos casos se supone un cojinete intacto sin daños de superficie de rodadura, es decir que la señal comprende sólo una amplitud de ruido pura. Las modulaciones de esta señal de ruido con el ángulo de giro proceden del efecto anteriormente descrito del "lóbulo sensible". En la figura 12, cada máximo tiene su origen en otro cuerpo de rodadura. Como la señal de salida resulta como suma de las señales individuales, la señal total mostrada no vuelve a cero entre los máximos (mientras que la respectiva señal individual de un cuerpo de rodadura sobre un determinado intervalo angular sería realmente cero según la forma del lóbulo sensible). A partir de la agudeza de los máximos o respectivamente la profundidad de la modulación pueden extraerse conclusiones acerca del hueco del cojinete o respectivamente el tamaño de la carga del cojinete (también ésta tiene efectos sobre el lóbulo sensible, pero por regla general es conocida), en que una profundidad de modulación aumentada puede significar un aumento del hueco del cojinete (por ejemplo por desgaste del anillo exterior) o una carga reducida. Con ello puede vigilarse el desgaste por ejemplo por comparación con la forma de señal en el estado nuevo del cojinete.

Además puede verse en la figura 12 que no todos los máximos son igual de altos. Esto significa, dado que a través de la señal de ruido se reproduce la distribución de fuerzas sobre los cuerpos de rodadura y éstos están disueltos individualmente en el filtro de formas periódicas para la rotación de la jaula debido al "lóbulo sensible", que la distribución de fuerza sobre los distintos cuerpos de rodadura es irregular en el ejemplo representado, de modo que este procedimiento puede ser empleado ya durante el control final en la fabricación.

La señal de rodadura del anillo exterior de la figura 13 representa la señal de todos los cuerpos de rodadura generada durante una vuelta completa de los cuerpos de rodadura (es decir la duración de la rodadura completa sobre una parte determinada de la superficie de rodadura del anillo exterior por un cuerpo de rodadura determinado), es decir un promediado sobre todas las señales de cuerpos de rodadura, en que contribuyen sólo cuerpos de rodadura en la zona de carga y la profundidad de modulación está reducida de forma similar a la figura 12, en este caso en comparación con la señal de un cuerpo de rodadura individual por las contribuciones de los cuerpos de rodadura que se encuentran igualmente al menos aún en parte en la zona de carga. En último término, con ello la señal de la figura 13 es una representación aumentada de una "punta" de la figura 12, que está por otra parte promediada sobre todas las "puntas". Conforme a ello, también a partir de la modulación de la señal de ruido con la frecuencia de rodadura del anillo exterior, es decir separando de la señal los componentes de señal que están

modulados con este periodo, pueden realizarse deducciones acerca del "lóbulo sensible" y con ello de la holgura del cojinete.

5 En la figura 14, en la cual en contraposición con las figuras 12 y 13 el ángulo está distribuido linealmente, se muestra adicionalmente a la señal de ruido, modulada con la frecuencia de rodadura del anillo exterior, de la figura 13 (curva A) un componente de señal (curva B), que procede de un daño en la superficie de rodadura del anillo exterior. Las curvas A y B pueden ser obtenidas a partir de la señal de salida del filtro de formas periódicas para el anillo exterior mediante un cálculo de compensación o adaptación de curva correspondiente. De este modo es posible determinar la posición de un daño (zona de los mayores desviaciones en la curva B) con relación a la posición del "lóbulo sensible", de modo que en principio es posible una localización del daño.

10 En las figuras 6 y 7 están representados otros dos ejemplos de realización para el análisis de daños, apoyado por filtros de formas periódicas, de componentes que se mueven cíclicamente.

15 En la figura 6 está representada esquemáticamente una disposición de diagnóstico para un engranaje, en el que tres ruedas dentadas 70, 72 y 74 con diámetros diferentes y con ello con frecuencias de giro diferentes están asociadas respectivamente a un filtro de formas periódicas 76, 78 o respectivamente 80 correspondiente, que está sincronizado o ajustado respectivamente a la frecuencia de rotación o al periodo de rotación correspondiente. Como en el caso de un engranaje la frecuencia de rotación se obtiene unívocamente mediante la relación del diámetro o respectivamente los dientes, por regla general es suficiente el conocimiento del número de revoluciones del árbol de entrada o de salida o el número de revoluciones de uno de los elementos del engranaje, para determinar de forma suficientemente precisa el número de revoluciones de los otros elementos del engranaje. En función de ello, los
20 filtros de formas periódicas 76 hasta 80 pueden ser controlados mediante una señal de control generada externamente desde una unidad 82 sin sincronización directa con la señal de entrada. Un sensor de oscilaciones 84 capta, por ejemplo en el alojamiento del engranaje, las oscilaciones del engranaje y genera una señal de oscilación, que es tratada en una etapa de preparación de señales 86, que comprende por ejemplo un filtro de paso de banda y una formación de envolvente, para ser aportada a los filtros de formas periódicas 76 hasta 80 como señal de
25 entrada, en en que sin embargo previamente la señal de salida de los respectivamente otros filtros de formas periódicas 76 hasta 80 es retirada, para facilitar la separación de la respectiva duración de periodo. También aquí los daños en los elementos del engranaje generan excitaciones características de daños con una duración de periodo característica para el respectivo elemento, de modo que se hace posible un análisis individual selectivo correspondiente de los elementos.

30 La figura 7 muestra esquemáticamente una disposición de diagnóstico para una instalación para la fabricación continua de un producto que es generado por rodillos rotatorios 90 hasta 100, cuyas superficies estampan el producto. En lo que respecta al producto 102 puede tratarse por ejemplo de un alambre, que es laminado por los rodillos 90 hasta 100. Fallos o respectivamente irregularidades sobre una superficie de rodillo se reflejan entonces correspondientemente en el producto y conducen a una señal correspondiente en un sensor 104, que explora el perfil de alambre. Un transductor de desplazamiento 106 halla la velocidad de avance del producto 102. Como los
35 rodillos 90 hasta 100 tienen diámetros diferentes y provocan respectivamente un alargamiento del producto 102 en la dirección de avance, el perímetro exterior de cada uno de los rodillos 90 hasta 100 se refleja en una longitud diferente del producto 102, de modo que para una dirección de avance constante duraciones de periodo diferentes para fallos en rodillos distintos resultan en la señal de perfil captada por el sensor 104. Como también aquí, al igual que en la figura 6, las frecuencias de rotación de los rodillos están fijas relativamente entre sí, es suficiente captar la velocidad de avance del producto mediante el transductor de desplazamiento 106, para poder calcular a partir de ello las frecuencias de rotación de los rodillos 90 hasta 100 individuales. Cada rodillo 90 hasta 100 está asociado a un filtro de formas periódicas 108 hasta 118, en que el filtro de formas periódicas 108 asociado al rodillo 98 está sincronizado mediante la señal del transductor de desplazamiento 106 con la frecuencia de rotación o
45 respectivamente la duración de periodo de rotación de dicho rodillo. La señal de salida del filtro de formas periódicas 108 así como la señal de perfil del sensor 106, que es aportada también al filtro de formas periódicas 108 de la señal de entrada, forman la señal de entrada para un detector de valores de cresta 120, que es reinicializado correspondientemente a la señal del transductor de desplazamiento 106 y cuya señal de salida sirve como señal de entrada para el filtro de formas periódicas 110, que está asociado al rodillo 100. El filtro de formas periódicas 110 está sincronizado con un periodo de rotación que corresponde a la mitad del periodo de rotación del rodillo 100, en que la señal del transductor de desplazamiento es dividida por dos y empleada como disparador para el filtro de formas periódicas 110. La salida del filtro de formas periódicas 110 así como la salida del detector de valores de cresta 120 son aportadas a otro detector de valores de cresta 122, etc. Los detectores de valores de cresta 120, 122, etc. sirven para alargar por etapas la señal, ya que también la señal del transductor de desplazamiento es dividida por dos por etapas. Aparte de esta "rebaja por división", los filtros de formas periódicas 108 hasta 118 están sincronizados sin embargo con los "tramos de rodadura" diferentes resultantes de los rodillos 90 hasta 100 sobre el producto 102. La "rebaja por división" tiene esencialmente el fin de adaptar correspondientemente las precisiones, de modo que puedan emplearse memorias anulares con igual profundidad de memoria. El contenido de cada filtro de formas periódicas 108 hasta 118 corresponde en el estado concordante finalmente a una imagen del perímetro
55 de rodadura del correspondiente rodillo 90 hasta 100, de modo que daños superficiales de los rodillos 90 hasta 100

pueden ser reconocidos directamente como correspondientes amplitudes de daños. El análisis de daños se produce en una etapa de reconocimiento de fallos 124.

Una mejor sincronización entre los filtros de formas periódicas y los correspondientes rodillos puede conseguirse cuando para cada rodillo está previsto un temporizador o respectivamente un cuentarrevoluciones.

- 5 La figura 8 muestra una representación más general del empleo de filtros de formas periódicas para el diagnóstico de elementos de máquina que se mueven cíclicamente, en que como en la figura 2 se trata aquí de un rodamiento 200. Fundamentalmente, el concepto “filtro de formas periódicas” debe designar un filtro que extrae o respectivamente separa con una determinada calidad todos los componentes de señal con una determinada frecuencia nominal o respectivamente periodo nominal a partir de al menos una señal de entrada. Por principio, un
10 filtro de formas periódicas puede tener varias entradas y salidas, en que el número de las diferentes señales de entrada corresponde a la complejidad n , es decir al número de niveles, del filtro de formas periódicas. Cada nivel puede tener en este caso varios órdenes de paso bajo. Otra propiedad característica del filtro de formas periódicas es el tipo de sincronización de su “rotación”.

- En la figura 9 está representada una propuesta para una reproducción o respectivamente clasificación simbólica de
15 filtros de formas periódicas. f designa aquí la frecuencia nominal, g designa la calidad (= f dividida anchura de banda), n designa el número de niveles o respectivamente la complejidad, o designa el orden de paso bajo, en que 0 significa no filtrada (sólo retrasada), 1 el paso bajo de primer orden, 2 el paso bajo de segundo orden, etc., P indica la designación simbólica del filtro de formas periódicas y además está previsto un símbolo, que designa la sincronización del filtro de formas periódicas, en que 0 significa que no existe sincronización, i significa
20 sincronización con la señal de entrada, T significa sincronización con una señal de disparo y P designa una sincronización con otro filtro de formas periódicas. Además cada filtro de formas periódicas puede estar asociado a un sentido de giro, y pueden estar previstos varios nudos de entrada o respectivamente de salida (puntos de acoplamiento), en que la propiedad de acoplamiento del punto de acoplamiento no tiene que ser necesariamente constante, sino que puede depender del respectivo “lugar” del filtro de formas periódicas, que está situado
25 justamente en el punto de acoplamiento (fijo), o depender de la forma de señal, con la que está justamente en concordancia el filtro de formas periódicas. Toda la información de salida del filtro de formas periódicas está incluida en el contenido de las distintas zonas de memoria, es decir de la forma de señal almacenada, de modo que en vez de la salida también puede ser representada la forma de señal como contorno perimetral del filtro de formas periódicas, véase la figura 9. Se podría decir también que la propiedad de acoplamiento de un punto de
30 acoplamiento durante una vuelta del filtro de formas periódicas puede variar en función del respectivo ángulo de giro y en función de la variación de la forma de señal almacenada. Distintos filtros de formas periódicas pueden estar acoplados entre sí, como se representa en la figura 8, donde un contacto perimetral de los distintos filtros de formas periódicas designa respectivamente un punto de acoplamiento. Entre los puntos de acoplamiento pueden ser compensadas funciones de transferencia conocidas mediante la correspondiente inversa de esta función.
35 Fundamentalmente, un filtro de formas periódicas puede ser representado también inversamente, como es el caso en la figura 8 para el filtro de formas periódicas designado por 202. En este caso, en vez del filtro de formas periódicas rota(n) el nudo o respectivamente los nudos de acoplamiento.

- En la figura 8, el rodamiento 200 está dotado de tres sensores, en que un sensor 204 capta el número de
40 revoluciones del árbol y dos sensores 206 o respectivamente 208 en dos zonas diferentes sobre el anillo exterior recogen una señal oscilatoria, que es aportada a una etapa de preparación de señales 210. La señal del sensor 204 es evaluada en una unidad de evaluación 212, que capta el número de revoluciones del árbol y genera una señal sincrona para el filtro de formas periódicas 214 asociado al anillo interior. El filtro de formas periódicas 202 está asociado al anillo exterior estacionario del rodamiento 200 y está representado igualmente de forma estacionaria.
45 Cada cuerpo de rodadura está asociado a un filtro de formas periódicas 216, en que éstos están acoplados con el filtro de formas periódicas para anillo exterior 202 estacionario y con el filtro de formas periódicas para anillo interior 214 que rota con el número de revoluciones del árbol de un modo que corresponde al acoplamiento de los cuerpos de rodadura con el anillo interior o respectivamente el anillo exterior, es decir en la zona de carga los cuerpos de rodadura ruedan sobre el anillo interior y el anillo exterior sin resbalamiento, mientras que fuera de la zona de carga aparece una pérdida de la sincronización de fases o respectivamente un resbalamiento. El acoplamiento entre los
50 filtros de formas periódicas para cuerpos de rodadura 216 y el filtro de formas periódicas para anillo interior 214 o respectivamente el filtro de formas periódicas para anillo exterior 202 está conformado de modo analógico, es decir el acoplamiento es escogido en función de la posición, de modo que la intensidad de acoplamiento depende de la posición momentánea respectiva del correspondiente filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura 216 en su trayectoria en torno al filtro de formas periódicas para anillo interior 214. Además, la intensidad de acoplamiento depende también de la forma de señal almacenada, que corresponde a la trayectoria de rodadura del
55 correspondiente elemento de rodamiento, de modo que por ejemplo cuando justamente una cresta está situada en el punto de acoplamiento, se produce un acoplamiento más intenso. Mediante el acoplamiento dependiente de la posición de revolución pueden tenerse en cuenta por ejemplo un desequilibrio U y una carga uniforme R .

- El filtro de formas periódicas para anillo exterior 202 es alimentado con dos señales de entrada diferentes desde la
60 etapa de preparación de señales 210, las cuales pueden estar asociadas al sensor 206 o respectivamente 208. En

este caso se trata, en cuanto a la señal del captador 206, de una señal compleja, de modo que el filtro de formas periódicas para anillo exterior 202, y con ello también todos los demás filtros de formas periódicas 214, 216, tienen tres niveles, es decir tienen complejidad 3. Todos los filtros de formas periódicas están conformados como paso bajo de primer orden, en que el filtro de formas periódicas para anillo exterior 202 y los filtros de formas periódicas para cuerpos de rodadura 216 están sincronizados con las señales de entrada, mientras que el filtro de formas periódicas para anillo interior 214 está sincronizado con la señal síncrona procedente de la etapa de tratamiento 212. En el filtro de formas periódicas para anillo exterior 202, la frecuencia nominal tiene un valor de 0, ya que esto representa un componente estacionario, mientras que el filtro de formas periódicas para anillo interior 214 tiene el número de revoluciones del árbol como frecuencia nominal y los filtros de formas periódicas para cuerpos de rodadura 216 tienen la frecuencia de rotación de los cuerpos de rodadura como frecuencia nominal. El filtro de formas periódicas para anillo exterior 202 y el filtro de formas periódicas para anillo interior 214 tienen una alta calidad con un valor de 100, mientras que los filtros de formas periódicas para cuerpos de rodadura 216 tienen una baja calidad con un valor de 3.

Al principio de un diagnóstico de rodamientos, se asignan valores iniciales correspondientemente escogidos a todos los parámetros relevantes de los filtros de formas periódicas, tales como por ejemplo forma de señal almacenada, frecuencia de rotación, evolución y valor instantáneo de la intensidad de acoplamiento, etc. Tan pronto como ha empezado la medición, las dos señales de entrada son introducidas en el filtro de formas periódicas para anillo exterior 202, en que tras un tiempo determinado o respectivamente tras un número determinado de ciclos correspondientemente a la calidad del filtro de formas periódicas, los distintos filtros de formas periódicas entran en concordancia con determinadas formas de señal. Tan pronto como los filtros de formas periódicas han alcanzado este estado, es decir tan pronto como sus contenidos o respectivamente su forma de señal almacenada son estacionarios, existe un resultado de medida significativo, que puede ser analizado entonces para evaluar el estado del rodamiento 200. Los resultados de medida comprenden entonces no sólo las formas halladas, es decir las formas de señal almacenadas de los distintos filtros de formas periódicas, que pueden dar lugar a conclusiones acerca del estado de las superficies de rodadura de los elementos de rodamiento asociados, sino también parámetros como la frecuencia de rotación de los cuerpos de rodadura y las evoluciones de acoplamiento halladas entre los distintos filtros de formas periódicas, lo que permite conclusiones acerca de desequilibrio, carga uniforme, estado de lubricación, etc. (en lo esencial a partir del resbalamiento de cuerpos de rodadura así hallado).

Se entiende que el sistema representado en la figura 8 puede emplearse de modo correspondiente por ejemplo también para el diagnóstico de un engranaje planetario.

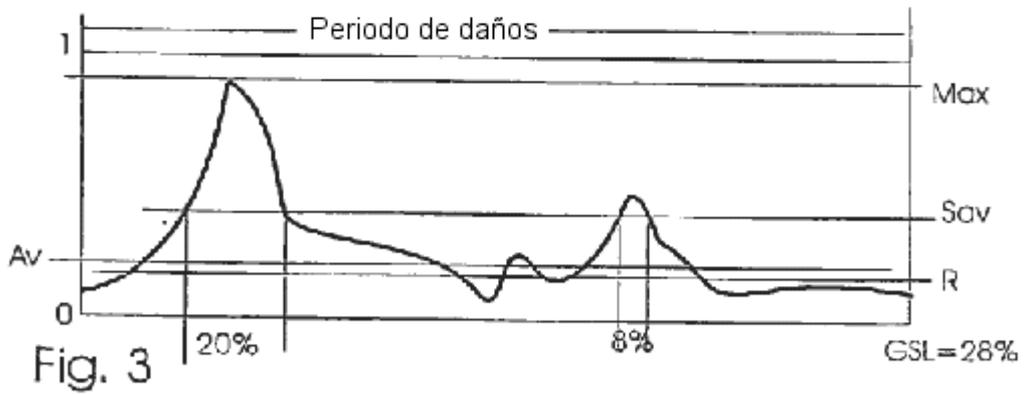
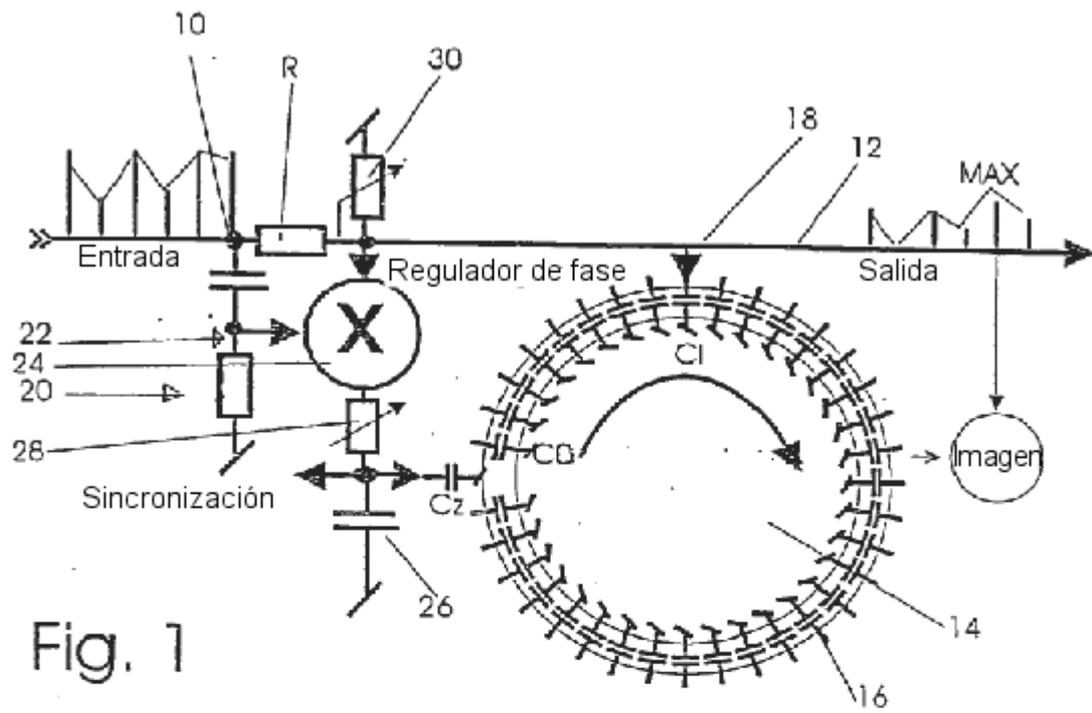
El aspecto esencial de este tipo de análisis de un sistema dinámico consiste en que elementos individuales del sistema a analizar están asociados respectivamente a un filtro de formas periódicas, en que las relaciones físicas de los elementos entre sí son reproducidas mediante una modelización correspondiente de las propiedades de los filtros de formas periódicas y su acoplamiento, en que sin embargo esta reproducción es sometida por la alimentación de una señal de medida a una comprobación automática y dado el caso a una corrección. En contraposición con una simulación no se genera sin embargo ninguna señal simulada, que habría que comparar luego con señales de medida reales, para evaluar la simulación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hallar daños en al menos un elemento de máquina (50, 52, 54) que se mueve cíclicamente, en que una señal provocada por el movimiento es captada por un sensor (62), al menos un componente con un periodo ajustable es separado de la señal, y la parte restante de la señal es sometida a un análisis de daños, caracterizado porque para la separación de componentes periódicos de señal la señal es aportada como señal de entrada a una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que reciben consecutivamente la señal de entrada aplicada actualmente a la entrada (10) de la memoria anular de forma respectiva, y cuya frecuencia de rotación se hace coincidir con la duración de periodo de los componentes de señal buscados, y los componentes de señal buscados son obtenidos como señal de salida de la memoria anular.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque en cuanto al periodo se trata del periodo de giro de un árbol que acciona el elemento de máquina.
3. Procedimiento para hallar daños en al menos un elemento de máquina (50, 52, 54) que se mueve cíclicamente, en que una señal provocada por el movimiento es captada por un sensor (62) y al menos un componente con un periodo ajustable es separado de la señal, el cual es sometido a análisis de daños, en que para la separación de componentes periódicos de señal la señal es aportada como señal de entrada a una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que reciben consecutivamente la señal de entrada aplicada actualmente a la entrada (10) de la memoria anular de forma respectiva, y cuya frecuencia de rotación se hace coincidir con la duración de periodo de los componentes de señal buscados, y los componentes de señal buscados son obtenidos como señal de salida de la memoria anular.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque el por lo menos un elemento de máquina (50, 52, 54) rota y en cuanto a la señal se trata de una señal oscilatoria.
5. Procedimiento según la reivindicación 3 ó 4, caracterizado porque el análisis de daños se lleva a cabo en el intervalo de tiempo del componente de señal separado.
6. Procedimiento para hallar daños en al menos un elemento de máquina (50, 52, 54) que se mueve cíclicamente, con una disposición (56, 58, 60) para separar un componente con un periodo ajustable a partir de una señal provocada por el movimiento y captada por un sensor (62) y con una disposición para el análisis de la parte separada y/o restante de la señal, en que la separación se produce mediante un filtro de formas periódicas (56, 58, 60) para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, con una entrada (10) para la señal, que alimenta una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que son unidos consecutivamente de forma respectiva a la entrada correspondientemente a la frecuencia de rotación, y con una disposición de sincronización (20), para hacer coincidir la frecuencia de rotación con la duración de periodo de los componentes de señal buscados.
7. Procedimiento según las reivindicaciones 1 hasta 5, caracterizado porque en cuanto a los elementos de máquina se trata del anillo exterior (50), los cuerpos de rodadura (54) y el anillo interior (52) de un rodamiento.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque el anillo exterior (50) y/o el anillo interior (52) están asociados respectivamente a un filtro de formas periódicas (56, 58) para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, con una entrada (10) para la señal, que alimenta una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que son unidos consecutivamente de forma respectiva a la entrada correspondientemente a la frecuencia de rotación, y con una disposición de sincronización (20), para hacer coincidir la frecuencia de rotación con la duración de periodo de los componentes de señal buscados, así como opcionalmente los cuerpos de rodadura (54) están asociados conjuntamente de forma respectiva a por lo menos un filtro de formas periódicas (60) para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, con una entrada (10) para la señal, que alimenta una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que son unidos consecutivamente de forma respectiva a la entrada correspondientemente a la frecuencia de rotación, y con una disposición de sincronización (20), para hacer coincidir la frecuencia de rotación con la duración de periodo de los componentes de señal buscados, en que las frecuencias de rotación de las memorias anulares corresponden a la frecuencia de rodadura del anillo exterior, a la frecuencia de rodadura del anillo interior o respectivamente a la frecuencia de rodadura de los cuerpos de rodadura.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque la señal de salida de los respectivamente otros filtros de formas periódicas es retirada de la señal, antes de ser aportada como señal de entrada al respectivo filtro de formas periódicas.
10. Procedimiento según la reivindicación 8 ó 9, caracterizado porque un filtro de formas periódicas adicional es sincronizado con el número de revoluciones del árbol y su señal de salida es retirada de la señal, antes de ser aportada como señal de entrada a los otros filtros de formas periódicas (56, 58, 60).

11. Procedimiento según las reivindicaciones 8 hasta 10, caracterizado porque la señal es preparada antes de ser aportada como señal de entrada a los filtros de formas periódicas (56, 58, 60).
- 5 12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque la señal es filtrada con un filtro de paso de banda (66) que es ajustado de tal modo que la señal de entrada del filtro de formas periódicas (56) para el anillo interior (52) se hace máxima.
13. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque a partir de un modelo dinámico del rodamiento montado es hallada la función de transferencia entre una desviación de cuerpo de rodadura provocada por el daño y la correspondiente señal de sensor y la señal es corregida respecto a esta función de transferencia con un paso de banda correspondiente, antes de ser aportada a los filtros de formas periódicas.
- 10 14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado porque delante del filtro de formas periódicas para anillo exterior (56) y del filtro de formas periódicas para anillo interior (58) está conectado respectivamente un paso de banda diferente, que corrige respectivamente la función de transferencia para una señal de daños procedente de un contacto entre el anillo exterior (50) y un cuerpo de rodadura (54) o respectivamente la función de transferencia para una señal de daños procedente de un contacto entre el anillo interior (52) y un cuerpo de rodadura (54).
- 15 15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque están previstos dos filtros de formas periódicas (60) para los cuerpos de rodadura (54), delante de cuyos filtros está conectado respectivamente uno de los dos filtros de paso de banda con función de transferencia diferente.
- 20 16. Procedimiento según las reivindicaciones 8 hasta 15, caracterizado porque está previsto un filtro de formas periódicas (70), cuya memoria anular rota con la frecuencia de rotación de la jaula y al que son aportadas la señal de salida del filtro de formas periódicas para anillo exterior (56) y dado el caso del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura (60).
- 25 17. Procedimiento según las reivindicaciones 8 hasta 16, caracterizado porque la variación temporal del contenido de la memoria anular de los filtros de formas periódicas (56, 58, 60) para el anillo exterior (50), el anillo interior (52) o respectivamente los cuerpos de rodadura (54) es analizada para hallar el desequilibrio o respectivamente la carga uniforme que actúa sobre el cojinete.
18. Procedimiento según la reivindicación 17, caracterizado porque la suma de carga uniforme y desequilibrio es hallada mediante el recurso de que para la señal de salida del filtro de formas periódicas para cuerpos de rodadura (60) es formada la relación entre las amplitudes de los componentes de señal procedentes del contacto con el anillo interior y del contacto con el anillo exterior.
- 30 19. Procedimiento según las reivindicaciones 8 hasta 18, caracterizado porque el ángulo de contacto del rodamiento es hallado a partir de la frecuencia de rotación de los filtros de formas periódicas (56, 58, 60) para el anillo exterior (50), el anillo interior (52) y/o los cuerpos de rodadura (54).
- 35 20. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque cada cuerpo de rodadura está asociado a un filtro de formas periódicas (216) para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, con una entrada (10) para la señal, que alimenta una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que son unidos consecutivamente de forma respectiva a la entrada correspondientemente a la frecuencia de rotación, y con una disposición de sincronización (20) para hacer coincidir la frecuencia de rotación con la duración de periodo de los componentes de señal buscados.
- 40 21. Procedimiento según las reivindicaciones 1 hasta 5, caracterizado porque en cuanto a los elementos de máquina se trata de elementos (70, 72, 74) de un engranaje que rotan o dan vueltas con un número de revoluciones diferente.
- 45 22. Procedimiento según la reivindicación 21, caracterizado porque cada elemento de engranaje (70, 72, 74) así está asociado a un filtro de formas periódicas (76, 78, 80) para la separación de componentes periódicos de señal a partir de una señal, con una entrada (10) para la señal, que alimenta una memoria anular rotatoria (14; 301, 302, 303), que es formada por elementos de memoria (16) dispuestos cíclicamente, que son unidos consecutivamente de forma respectiva a la entrada correspondientemente a la frecuencia de rotación, y con una disposición de sincronización (20) para hacer coincidir la frecuencia de rotación con la duración de periodo de los componentes de señal buscados, cuya memoria anular rota con la frecuencia de giro o respectivamente de revolución del elemento de engranaje asociado.
- 50 23. Procedimiento según las reivindicaciones 1 hasta 5, caracterizado porque en cuanto a los elementos de máquina se trata de rodillos rotatorios (90, 92, 94, 96, 98, 100) para la fabricación continua de un producto (102), los cuales estampan la superficie del producto.

24. Procedimiento según la reivindicación 23, caracterizado porque la señal a partir del perfil del producto (102) es obtenida en la dirección de avance, en que cada rodillo (90, 92, 94, 96, 98, 100) está asociado a un filtro de formas periódicas (108, 110, 112, 114, 116, 118).
- 5 25. Procedimiento según la reivindicación 24, caracterizado porque la velocidad de avance del producto (102) es captada y empleada para la sincronización de los filtros de formas periódicas (108, 110, 112, 114, 116, 118).
26. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque la calidad del filtro de formas periódicas (60) para los cuerpos de rodadura (54) es ajustada de tal modo que entra en concordancia en una revolución de la jaula.
27. Procedimiento según la reivindicación 26, caracterizado porque la constante temporal del filtro de formas periódicas (60) para los cuerpos de rodadura (54) es escogida como
- 10 $\text{duración de revolución de jaula} * \text{ángulo de carga} / 360^\circ$.
28. Procedimiento según la reivindicación 26 ó 27, caracterizado porque en cada revolución de la jaula se genera una imagen del contenido de la memoria anular, cuando la salida es máxima.
29. Procedimiento según la reivindicación 28, caracterizado porque la memoria anular es reiniciada tras cada revolución y a partir de la comparación de diferentes imágenes es hallado el desplazamiento de fase entre las diferentes imágenes y con ello el ángulo de resbalamiento de los cuerpos de rodadura (54).
- 15 30. Procedimiento según la reivindicación 29, caracterizado porque el desplazamiento de fase es hallado a partir del máximo de la correlación anular entre las imágenes individuales.
31. Procedimiento según la reivindicación 29 ó 30, caracterizado porque las imágenes individuales son corregidas en lo que respecta a su desplazamiento de fase y son sumadas luego, para formar la salida del filtro de formas
- 20 periódicas (60).
32. Procedimiento según la reivindicación 26 ó 27, caracterizado porque la fase de la rotación de la memoria anular del filtro de formas periódicas (60) para los cuerpos de rodadura (54) es controlada correspondientemente al ángulo de resbalamiento hallado de los cuerpos de rodadura, para compensar el resbalamiento de los cuerpos de rodadura.
- 25 33. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque la señal de salida del o respectivamente de cada filtro de formas periódicas (56, 58, 60) es clasificada según su amplitud.
34. Procedimiento según la reivindicación 33, caracterizado porque a partir de la señal clasificada por amplitud es hallada la longitud de daños para el anillo exterior (50), el anillo interior (52) o respectivamente los cuerpos de rodadura (54).
35. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque en cuanto a la señal se trata de una señal de
- 30 ruido modulada en amplitud y en cuanto al periodo se trata del periodo de modulación de la señal de ruido.
36. Procedimiento según la reivindicación 35, caracterizado porque en cuanto al elemento de máquina se trata de un rodamiento, en que los componentes de señal de ruido, que están modulados en amplitud con la frecuencia de rodadura del anillo exterior y/o la frecuencia de revolución de la jaula, son separados para derivar de ellos informaciones relativas a la holgura del cojinete.
- 35 37. Procedimiento según la reivindicación 36, caracterizado porque para la evaluación de la holgura del cojinete se toma la profundidad de modulación.



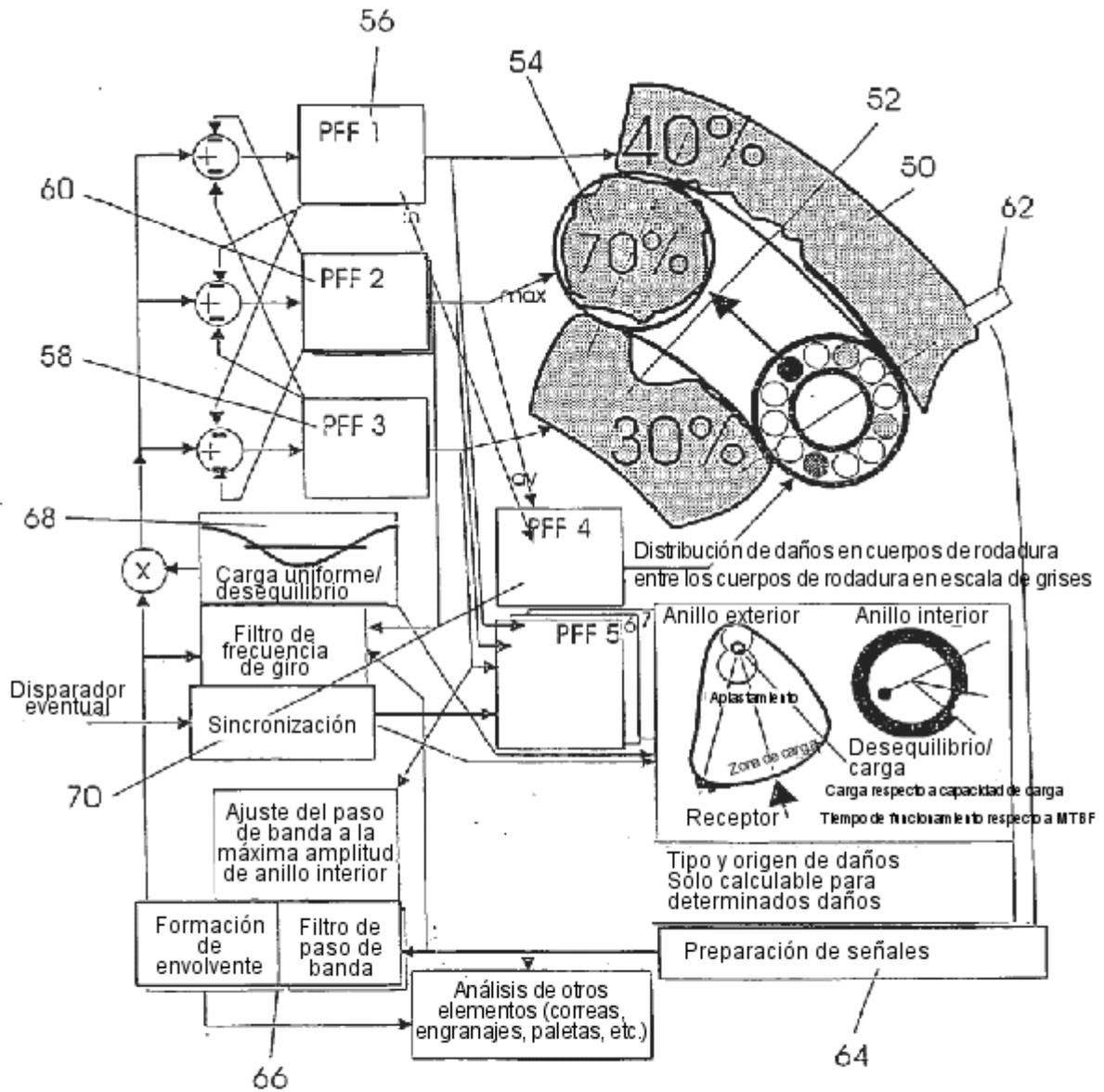


Fig. 2

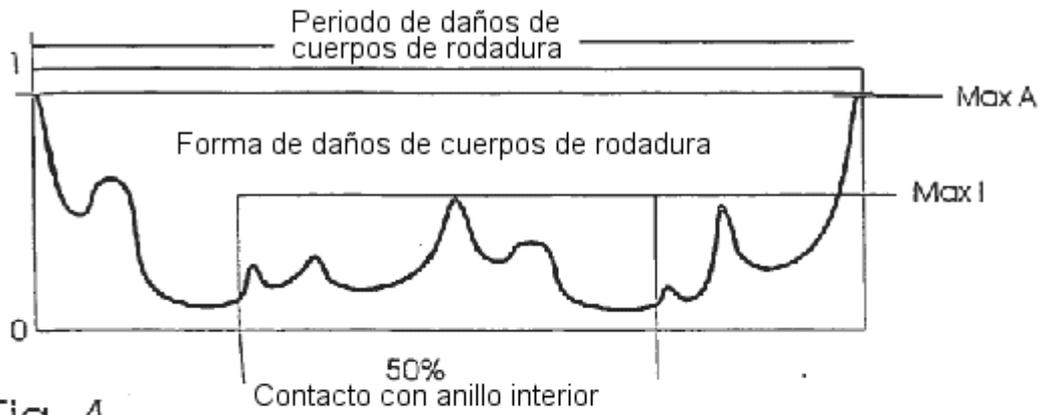


Fig. 4

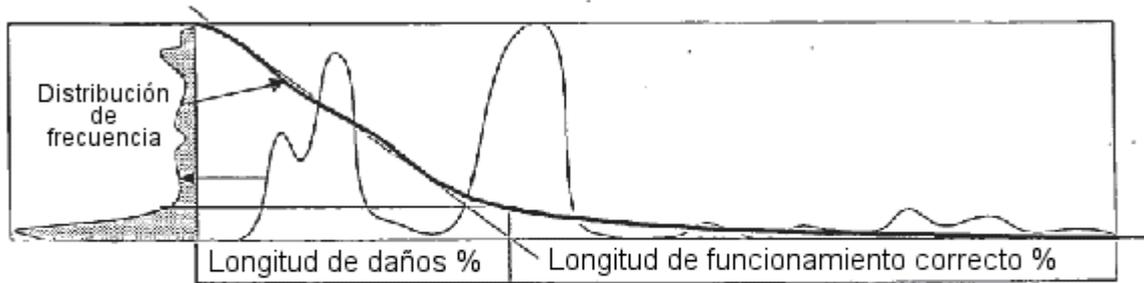


Fig. 5

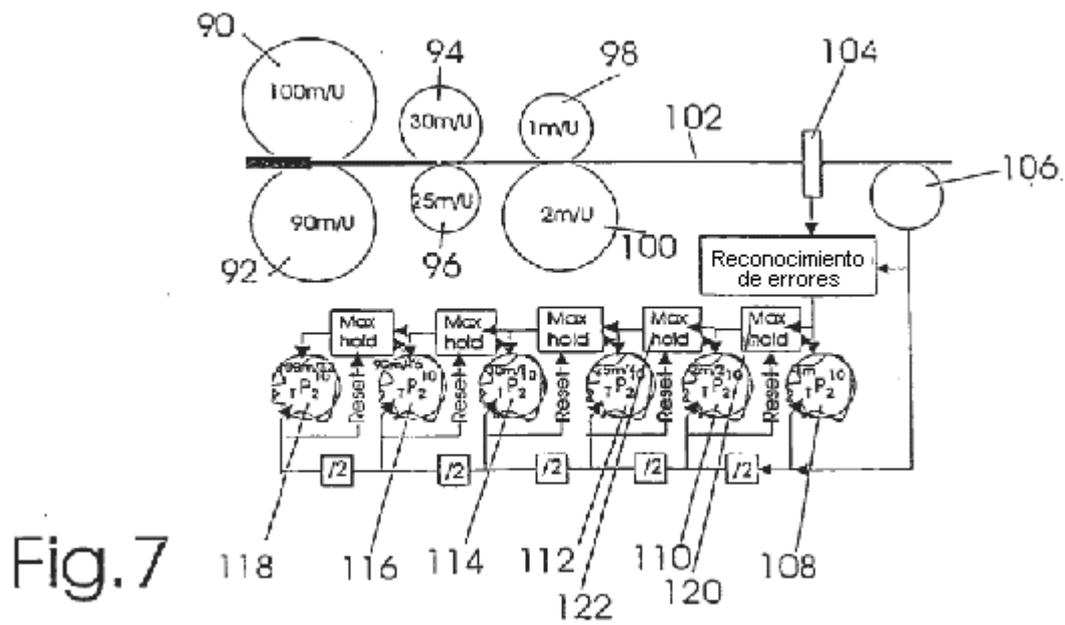
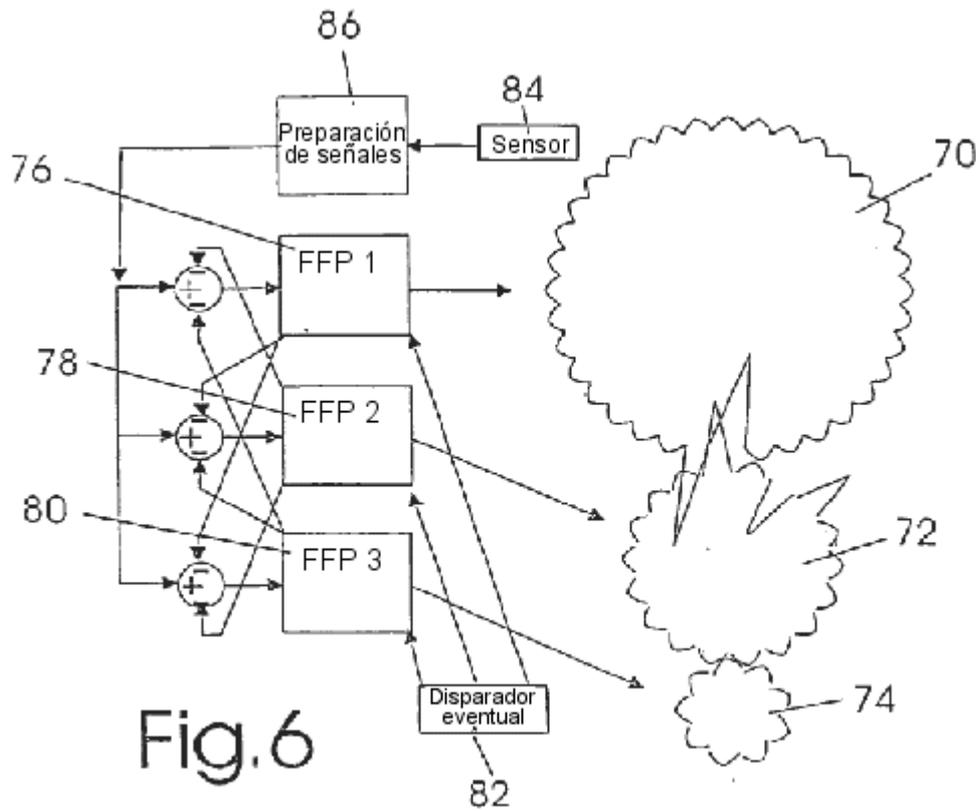


Fig. 8

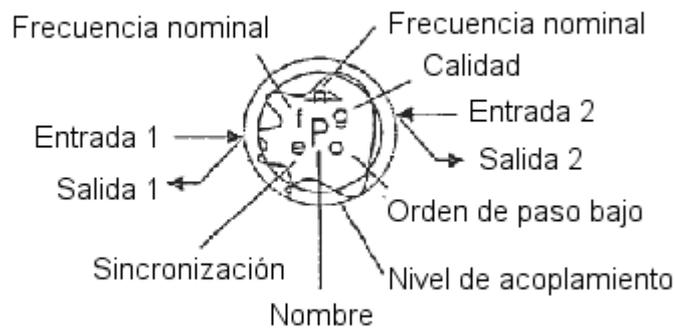
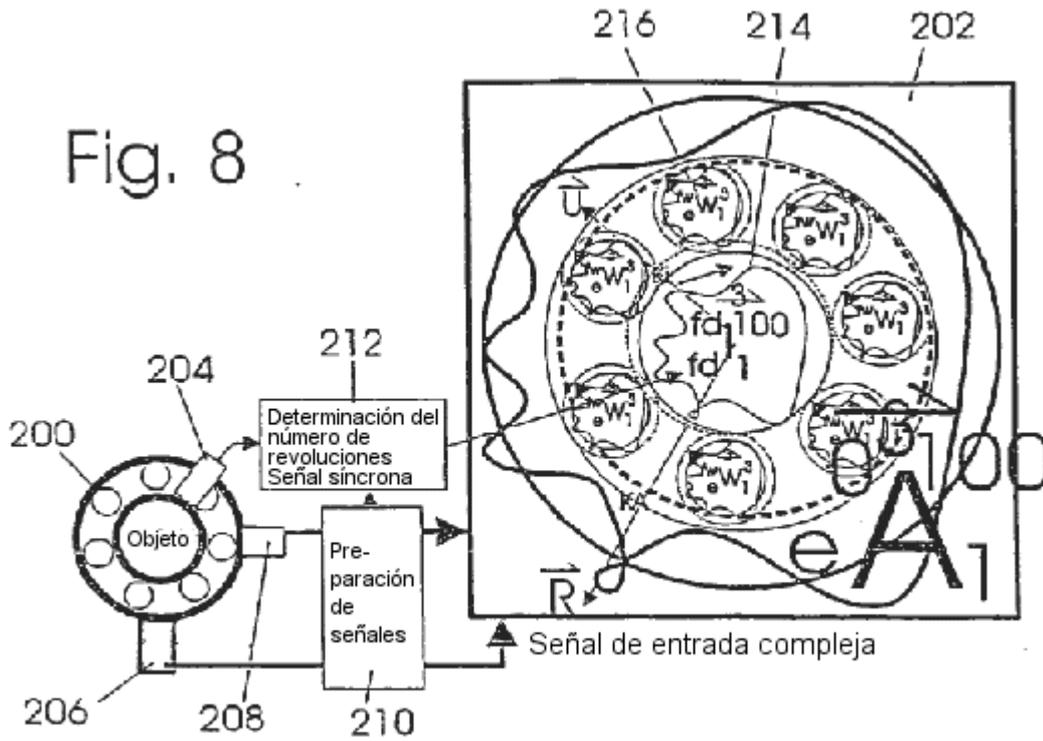


Fig. 9

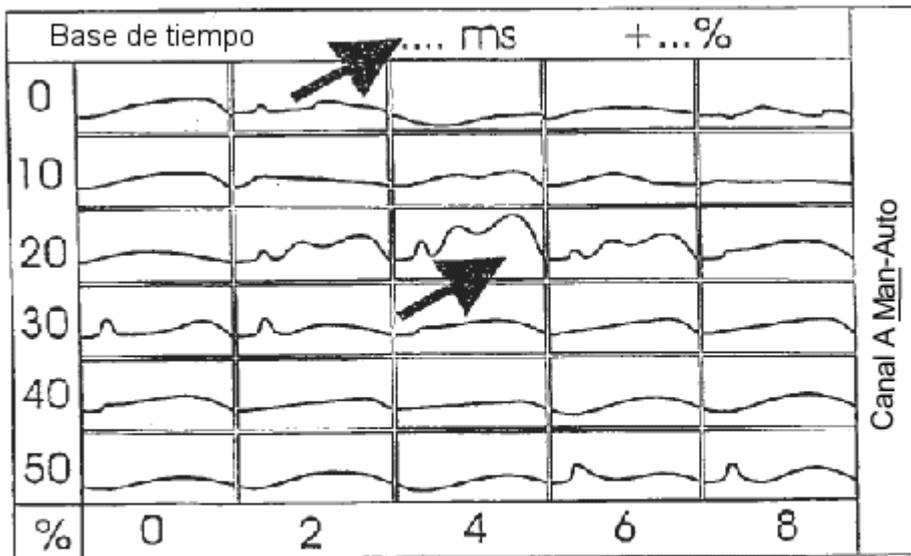
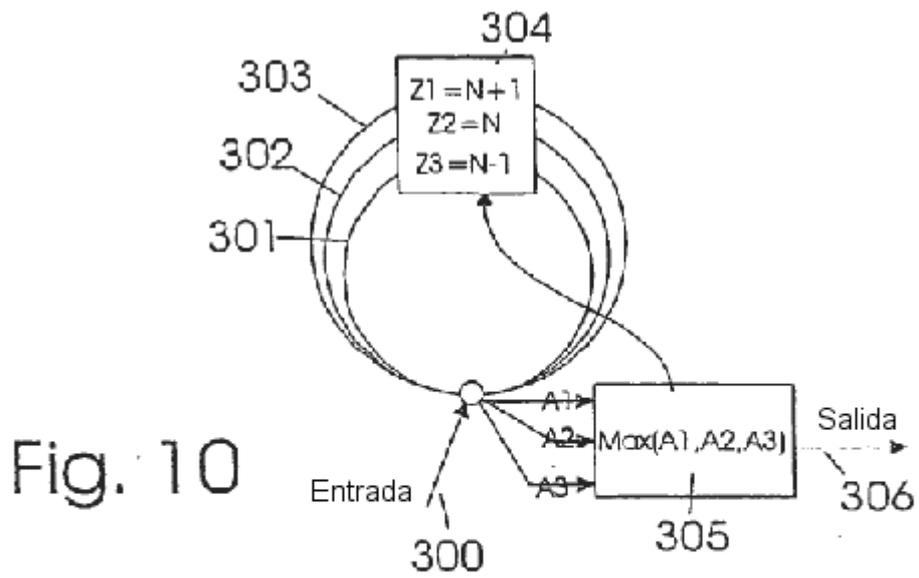


Fig. 11

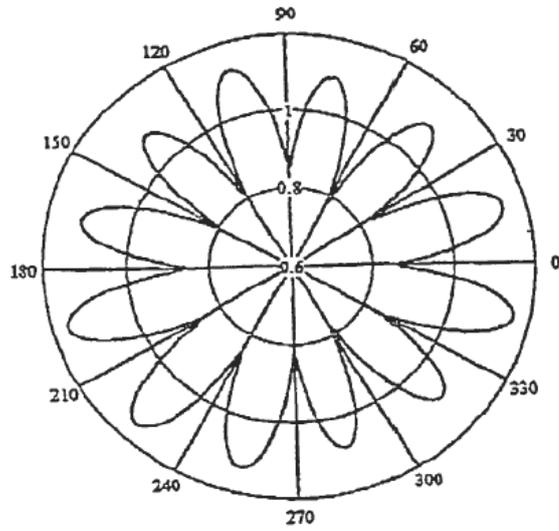


Fig. 12

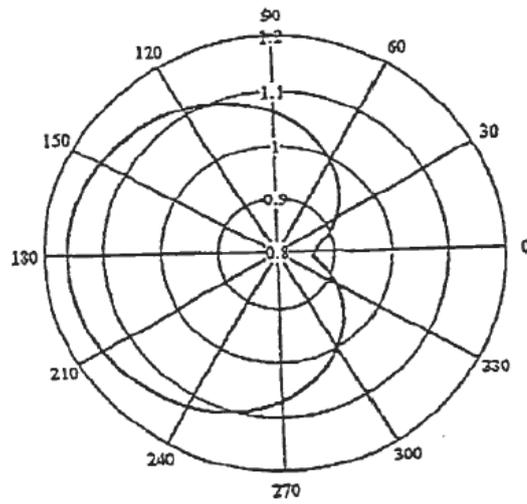


Fig. 13

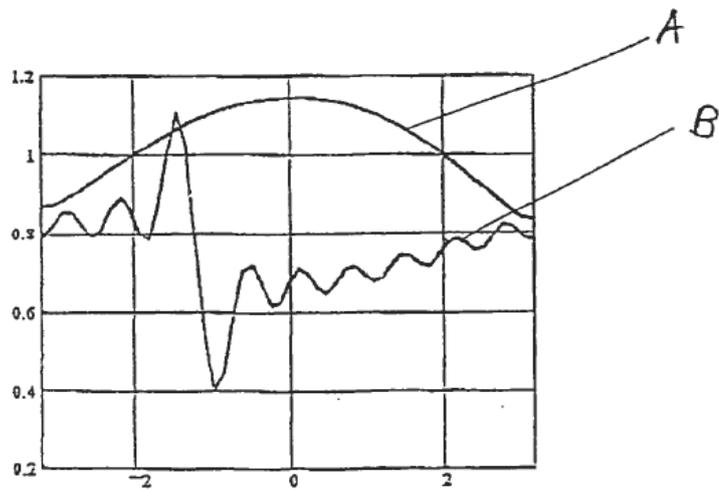


Fig. 14

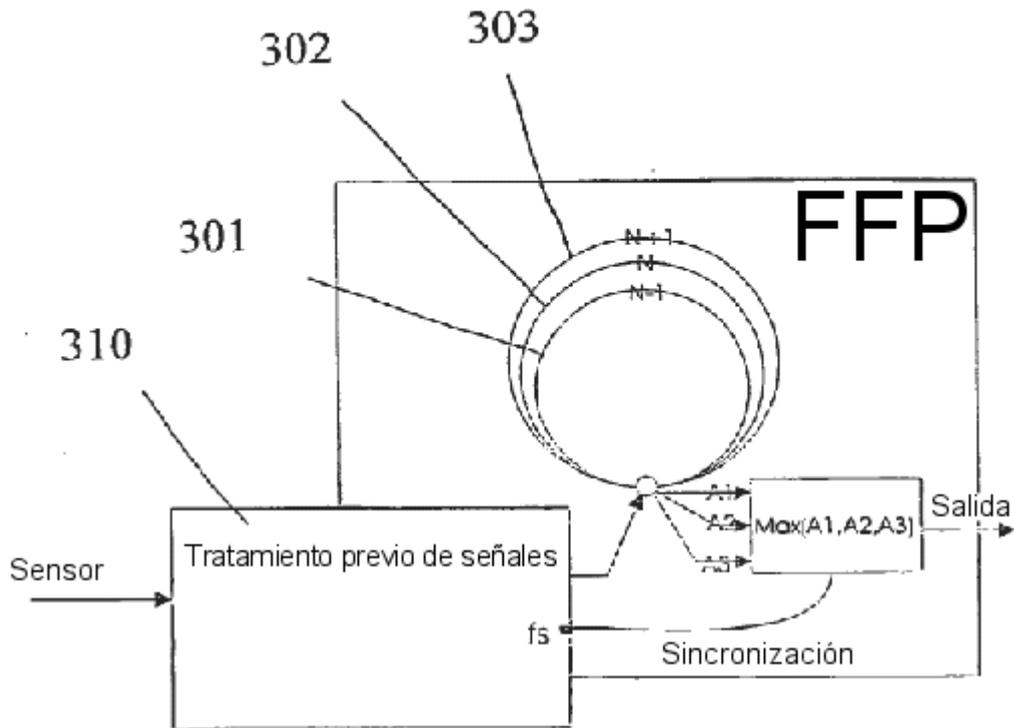


Fig. 15