

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 496**

51 Int. Cl.:

**G01H 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2011 E 11787732 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.11.2014 EP 2630453**

54 Título: **Procedimiento de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador**

30 Prioridad:

**21.10.2010 FR 1058617**

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

**03.03.2015**

73 Titular/es:

**MAIA EOLIS (50.0%)  
Tour de Lille, Boulevard de Turin  
59777 Lille, FR y  
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES  
APPLIQUÉES DE LYON (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ANDRE, HUGO y  
REMOND, DIDIER**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 530 496 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 de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador, así como a un sistema de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador.

10 Por "elemento giratorio" se entiende en particular:

- una línea de árbol del aerogenerador,
- un rodamiento que soporta una línea de árbol,
- un engranaje que pertenece a un tren de engranajes de un multiplicador del aerogenerador,
- 15 - una barra rotórica/estatórica de una generatriz del aerogenerador.

La vigilancia de los elementos giratorios tiene en particular por objetivo detectar los fallos de estos elementos giratorios. La vigilancia de los elementos giratorios es un desafío importante para la gestión del mantenimiento y de la conservación de un parque de aerogeneradores.

20 Se conoce a partir del estado de la técnica disponer unos acelerómetros sobre un elemento giratorio a vigilar con el fin de efectuar unas adquisiciones de mediciones a paso de tiempo constante de las vibraciones emitidas por los fallos y transmitidas a los acelerómetros por vía solidiana a través del cárter. Los fallos del elemento giratorio a vigilar generan unas excitaciones cíclicas cuya frecuencia de aparición depende directamente de la velocidad angular del elemento giratorio. Por otra parte, la vía solidiana que filtra estos fallos está influenciada por numerosos parámetros de los cuales el par ejercido sobre el elemento giratorio.

25 Los documentos US nº 5.365.787 y WO 9605486 describen unos procedimientos de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de una turbina. Estos procedimientos comprenden unas etapas para determinar una señal representativa de la velocidad angular instantánea del elemento giratorio sobre una duración de adquisición y calcular la transformada de Fourier discreta de la señal representativa de la velocidad angular muestreada de manera que se obtenga un espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.

30 Las adquisiciones temporales de medición se pueden efectuar sólo cuando las condiciones de funcionamiento del aerogenerador son estables; en particular la velocidad angular del elemento giratorio debe permanecer en una ventana de adquisición predeterminada durante un tiempo de adquisición suficientemente importante. La ventana de adquisición está predeterminada de manera que:

- 40 - las excitaciones cíclicas no se extiendan en una banda de frecuencia demasiado ancha, dependiendo la anchura de la banda de frecuencia de la velocidad angular del elemento giratorio,
- el tiempo de adquisición es suficientemente largo para obtener una estimación estadística fiable de la evolución del fallo.

45 Se debe observar que no es posible comparar las observaciones obtenidas a partir de diferentes ventanas de adquisición.

50 Estas condiciones de estabilidad del funcionamiento del aerogenerador son extremadamente imperativas en la medida en la que, por naturaleza, las condiciones de funcionamiento de un aerogenerador están dictadas por el viento, y son por lo tanto muy difícilmente controlables. En otras palabras, las condiciones de par ejercido sobre el elemento giratorio y de velocidad angular del elemento giratorio son clásicamente no estacionarias.

55 Por otra parte, cuando se desea vigilar el multiplicador del aerogenerador, las frecuencias a vigilar son numerosas y están alejadas unas de las otras.

Las adquisiciones temporales de mediciones necesitan entonces:

- 60 - una frecuencia de muestreo elevada para las excitaciones cíclicas más rápidas,
- una resolución de frecuencia elevada para las excitaciones cíclicas más lentas y para diferenciar las excitaciones cíclicas cuyas frecuencias de aparición son próximas.

65 La señal vibratoria obtenida a partir de un acelerómetro es la convolución de la excitación cíclica que puede producir el elemento giratorio a vigilar por la función de transferencia del cárter. Ahora bien, la función de transferencia del cárter es muy sensible a las condiciones de montaje. Por lo tanto, la observación de un mismo fallo para un mismo

régimen de funcionamiento del aerogenerador puede diferir de manera importante para dos condiciones de montaje diferentes del carácter. Además, el cambio de condiciones de velocidad angular del elemento giratorio implica un cambio de la localización de la frecuencia de aparición de la excitación cíclica, e implica por lo tanto unas modificaciones de niveles medidos por el acelerómetro.

5 Además, dichas adquisiciones temporales de mediciones no pueden detectar los fallos que aparecen en los regímenes transitorios del aerogenerador, por ejemplo cuando el aerogenerador está iniciándose o apagándose. En efecto, como se ha precisado antes, las adquisiciones temporales de mediciones se deben efectuar cuando las condiciones de funcionamiento del aerogenerador son estables, siendo los regímenes transitorios por naturaleza inestables.

10 Además, la amortiguación de la vía solidiana que transmite la excitación cíclica al acelerómetro no permite vigilar el conjunto de una línea de árbol con un solo acelerómetro. En particular, es habitual utilizar una decena de acelerómetros para vigilar una línea de árbol completa, lo cual genera unos costes elevados de mantenimiento y dificultades de gestión de las señales a almacenar y a tratar.

15 La presente invención tiene como objetivo remediar la totalidad o parte de los inconvenientes antes citados y se refiere a un procedimiento de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador, siendo el procedimiento remarcable por que comprende las etapas que consisten en:

- 20 - a) determinar una señal representativa de la velocidad angular instantánea del elemento giratorio sobre una duración de adquisición,
- 25 - b) muestrear la señal representativa de la velocidad angular instantánea a un paso angular constante sobre un número de muestras determinado,
- 30 - c) calcular la transformada de Fourier discreta de la señal representativa de la velocidad angular muestreada en la etapa b) de manera que se obtenga un espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular,
- d) detectar la frecuencia fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre el espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.

35 Así, un procedimiento de vigilancia de este tipo permite detectar un fallo del elemento giratorio, a partir de su frecuencia de aparición denominada frecuencia característica, sobre el espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.

40 La frecuencia característica del fallo se obtiene clásicamente mediante un análisis previo, en particular por un análisis geométrico del elemento giratorio.

Un procedimiento de vigilancia de este tipo permite detectar la frecuencia fundamental de aparición sobre el espectro de orden a proximidad de la frecuencia característica en el sentido en el que la frecuencia fundamental de aparición puede ser diferente de la frecuencia característica.

45 La vigilancia se obtiene entonces fácilmente, por ejemplo mediante un seguimiento de la amplitud del espectro de orden para la frecuencia fundamental de aparición.

50 Un procedimiento de vigilancia de este tipo utiliza una señal representativa de la velocidad angular instantánea muestreada a paso de ángulo constante, lo cual permite detectar un fallo para unas condiciones de par ejercido sobre el elemento giratorio y de velocidad angular del elemento giratorio que son no estacionarias así como para regímenes transitorios del aerogenerador, lo cual es imposible con una vigilancia vibratoria que utiliza unos acelerómetros y unos sistemas de adquisición temporal clásicos.

55 Según un modo de realización, el espectro de orden de la señal de velocidad angular presenta una componente de frecuencia de tipo banda ancha, y los medios de cálculo están configurados para aplicar un ventanaje ( $w(i)$ ) a la señal representativa de la velocidad angular muestreada ( $\omega(i)$ ), estando el ventanaje configurado para retirar la componente de frecuencia de tipo banda ancha.

60 Así, cuando la velocidad angular del elemento giratorio presenta una variación macroscópica temporal, esta variación macroscópica genera una componente de frecuencia de tipo banda ancha sobre el espectro de orden. Así, un procedimiento de vigilancia de este tipo permite detectar precisamente un fallo del elemento giratorio a pesar de una variación macroscópica temporal de la velocidad angular del elemento giratorio.

65 Según un modo de realización, la etapa b) comprende las etapas que consisten en:

- calcular el valor medio de la señal representativa de la velocidad angular instantánea determinada en la etapa

a) sobre la duración de adquisición,

- completar la señal representativa de la velocidad angular instantánea determinada en la etapa a) con un número de puntos que presentan cada uno un valor sustancialmente igual a dicho valor medio calculado de la señal representativa de la velocidad angular instantánea, siendo el número de puntos determinado de manera que el número de muestras define un intervalo de tiempo múltiplo del periodo fundamental de aparición del fallo.

Así, un procedimiento de vigilancia de este tipo permite librarse del efecto denominado en inglés "*Picket Fence Effect*" para la transformada de Fourier discreta de la señal representativa de la velocidad angular muestreada cuando la velocidad angular del elemento giratorio es macroscópicamente estable.

Ventajosamente, el procedimiento de vigilancia comprende además las etapas que consisten en:

- medir el valor medio de una señal de velocidad angular instantánea sobre la duración de adquisición,
- medir el valor medio del par ejercido sobre el elemento giratorio sobre la duración de adquisición,
- normalizar la señal representativa de la velocidad angular instantánea determinada en la etapa a) con respecto a una señal representativa de la velocidad angular de referencia.

Así, es posible comparar, para unas condiciones similares de valor medio de par ejercido sobre el elemento giratorio y de valor medio de velocidad angular del elemento giratorio, la señal representativa de la velocidad angular instantánea con respecto a una señal representativa de la velocidad angular de referencia, correspondiendo la señal representativa de la velocidad angular de referencia a un elemento giratorio libre de fallos. Un procedimiento de este tipo puede entonces estimar la duración de vida del elemento giratorio.

Según una variante de realización, el procedimiento de vigilancia comprende además las etapas que consisten en:

- medir el valor medio del par ejercido sobre la duración de adquisición,
- atribuir por lo menos un indicador a la frecuencia fundamental de aparición detectada en la etapa d) sobre la duración de adquisición, correspondiendo el indicador preferentemente a la amplitud del espectro de orden obtenido en la etapa c) para la frecuencia fundamental de aparición o a una combinación lineal de las amplitudes de dicho espectro de orden para los armónicos de la frecuencia fundamental de aparición,
- normalizar los indicadores obtenidos sobre la duración de adquisición con respecto a un indicador de referencia.

Así, es posible comparar, para unas condiciones similares de valor medio de par ejercido sobre el elemento giratorio y de valor medio de velocidad angular del elemento giratorio, los indicadores con respecto a un indicador de referencia, correspondiendo el indicador de referencia a un elemento giratorio libre de fallos. Un procedimiento de este tipo puede permitir estimar la duración de vida del elemento giratorio. Se debe observar que la frecuencia fundamental de aparición puede ser modulada en la etapa de atribución de un indicador.

Ventajosamente, la señal representativa de la velocidad angular instantánea determinada en la etapa a) presenta una frecuencia máxima, la etapa b) comprende una etapa que consiste en seleccionar una frecuencia de muestreo inferior al doble de dicha frecuencia máxima, y la etapa d) comprende una etapa que consiste en detectar la frecuencia de orden fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre una zona de repliegue del espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular obtenida en la etapa c).

Así, un procedimiento de vigilancia de este tipo permite detectar una frecuencia de orden fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio superior a la frecuencia de Shannon.

Según una forma de realización, la señal representativa de la velocidad angular instantánea determinada en la etapa a) es una señal acelerométrica muestreada a paso de tiempo constante, comprendiendo la etapa a) una etapa que consiste en montar un acelerómetro sobre un cárter del elemento giratorio.

Así, el remuestreo angular a paso angular constante de la señal acelerométrica permite librarse de las perturbaciones relacionadas con la influencia de las variaciones de velocidad angular del elemento giratorio, tal como una línea de árbol del aerogenerador.

Preferentemente, la etapa b) comprende una etapa que consiste en interpolar la señal acelerométrica.

Según una variante de realización, la señal representativa de la velocidad angular instantánea determinada en la etapa a) es una señal de velocidad angular instantánea.

Así, dicho procedimiento de vigilancia permite librarse de la influencia del comportamiento de un cárter del elemento giratorio.

5 Ventajosamente, la etapa a) y la etapa b) comprenden las etapas que consisten en:

- montar un taquímetro sobre el elemento giratorio, proporcionando el taquímetro una serie de impulsos representativa de la posición angular instantánea del elemento giratorio,
- 10 - medir los intervalos de tiempo entre dos frentes ascendentes, en particular sucesivos, de la serie de impulsos por medio de un primer contador de alta frecuencia que presenta un reloj de alta frecuencia.

Así, la medición de los intervalos de tiempo entre dos frentes ascendentes, en particular sucesivos, de la serie de impulsos permite determinar la velocidad angular instantánea y obtener un muestreo según un paso de ángulo constante.

Ventajosamente, el procedimiento de vigilancia comprende una etapa que consiste en restar dos intervalos de tiempo sucesivos medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal representativa de la aceleración angular instantánea.

Así, dicha señal representativa de la aceleración angular instantánea permite librarse de la perturbación relacionada con la presencia de una componente de frecuencia de tipo banda ancha que perturba la detección de la frecuencia fundamental de aparición del fallo a partir del espectro de orden de la señal de velocidad angular instantánea.

25 Según una variante de realización, el procedimiento de vigilancia comprende las etapas que consisten en:

- sumar los intervalos de tiempo medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal denominada suma,
- 30 - interpolar la señal de suma, preferentemente por interpolación *spline* cúbico, de manera que se obtenga una función ángulo-tiempo, asociando la función ángulo-tiempo cada posición angular instantánea del elemento giratorio a un paso de tiempo, correspondiendo los pasos de tiempo a los franqueos de cada frente ascendente sobre la duración de adquisición,
- 35 - muestrear dicha posición angular a paso de tiempo constante,
- efectuar una doble derivación temporal de la función ángulo-tiempo de manera que se obtenga una señal de aceleración angular instantánea,
- 40 - filtrar dicha señal de aceleración angular instantánea sobre una banda de frecuencia predeterminada.

Así, dicho procedimiento permite también librarse de la perturbación relacionada con la presencia de una componente de frecuencia de tipo banda ancha que perturba la detección de la frecuencia fundamental de aparición del fallo filtrando la señal de aceleración angular instantánea sobre esta banda de frecuencia. El módulo al cuadrado de esta señal angular instantánea filtrada se denomina envolvente.

El remuestreo en el campo angular de la envolvente, y después el cálculo de su transformada de Fourier permiten obtener la envolvente espectral angular analizada como una señal de velocidad instantánea del elemento giratorio.

50 Según un modo de realización, la etapa a) y la etapa b) comprenden una etapa que consiste en medir los intervalos de tiempo entre un primer frente ascendente y un segundo frente ascendente por medio de un segundo contador de alta frecuencia, estando el segundo frente ascendente separado del primer frente ascendente por lo menos por un frente ascendente intermedio, estando el segundo contador preferentemente ligado al reloj de alta frecuencia del primer contador.

Así, es posible simular la reducción de la resolución angular del taquímetro, siendo la resolución angular del taquímetro inversamente proporcional al número de frentes ascendentes intermedios. Dicho procedimiento de vigilancia permite utilizar sólo un taquímetro para sincronizar una línea de árbol entera del aerogenerador con una resolución angular equivalente. El primer contador y el segundo contador, ligados al mismo reloj de alta frecuencia, permiten una realización fácil, por ejemplo con la ayuda de una sola tarjeta de recuento.

La presente invención se refiere asimismo a un sistema de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador, siendo el sistema de vigilancia destacable por que comprende:

- 65 - unos medios de determinación dispuestos para determinar una señal representativa de la velocidad angular instantánea del elemento giratorio sobre una duración de adquisición,

- unos medios de muestreo configurados para muestrear la señal representativa de la velocidad angular a un paso angular constante sobre un número de muestras determinado,
- 5 - unos medios de cálculo configurados para calcular la transformada discreta de Fourier de la señal representativa de la velocidad angular muestreada de manera que se obtenga un espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular,
- 10 - unos medios de detección dispuestos para detectar la frecuencia fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre el espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.

En un modo de realización, el espectro de orden de la señal de velocidad angular presenta una componente de frecuencia de tipo banda ancha, y los medios de cálculo están configurados para aplicar un ventanaje ( $w(i)$ ) a la señal representativa de la velocidad angular muestreada ( $\omega(i)$ ), estando el ventanaje configurado para retirar la componente de frecuencia de tipo banda ancha.

En un modo de realización, los medios de muestreo están configurados para:

- 20 - calcular el valor medio de la señal representativa de la velocidad angular instantánea sobre la duración de adquisición,
- completar la señal representativa de la velocidad angular instantánea con un número de puntos que presentan cada uno un valor sustancialmente igual a dicho valor medio calculado, siendo el número de puntos determinado de manera que el número de muestras defina un intervalo de tiempo múltiplo del periodo fundamental de aparición del fallo.

En un modo de realización, el sistema de vigilancia comprende además:

- 30 - unos medios de medición del valor medio de una señal de velocidad angular instantánea sobre la duración de adquisición,
- unos medios de medición del valor medio del par ejercido sobre el elemento giratorio sobre la duración de adquisición,
- 35 - unos medios de normalización de la señal representativa de la velocidad angular instantánea con respecto a una señal representativa de la velocidad angular de referencia.

En un modo de realización, el sistema de vigilancia comprende además:

- 40 - unos medios de medición del valor medio de una señal de velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) sobre la duración de adquisición,
- unos medios de medición del valor medio del par ejercido sobre el elemento giratorio sobre la duración de adquisición,
- 45 - unos medios para atribuir por lo menos un indicador a la frecuencia fundamental de aparición detectada sobre la duración de adquisición, correspondiendo el indicador preferentemente a la amplitud del espectro de orden para la frecuencia fundamental de aparición o a una combinación lineal de las amplitudes de dicho espectro de orden para los armónicos de la frecuencia fundamental de aparición,
- 50 - unos medios de normalización de los indicadores obtenidos sobre la duración de adquisición con respecto a un indicador de referencia.

Se debe observar que la frecuencia fundamental de aparición puede ser modulada durante la atribución de un indicador.

En un modo de realización, la señal representativa de la velocidad angular instantánea presenta una frecuencia máxima, los medios de muestreo están configurados para seleccionar una frecuencia de muestreo inferior al doble de dicha frecuencia máxima, y los medios de detección están configurados para detectar la frecuencia de orden fundamental de aparición del fallo del elemento giratorio sobre una zona de repliegue del espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.

Según una forma de realización, los medios de determinación comprenden:

- 65 - un taquímetro montado sobre el elemento giratorio, proporcionando el taquímetro una serie de impulsos representativa de la posición angular instantánea del elemento giratorio,

- un primer contador de alta frecuencia dispuesto para medir los intervalos de tiempo entre dos frentes ascendentes, en particular sucesivos, de la serie de impulsos, formando el primer contador los medios de muestreo, presentando el primer contador un reloj de alta frecuencia.

5

En un modo de realización, los medios de cálculo están configurados para:

- sumar los intervalos de tiempo medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal denominada de suma,
- interpolar la señal de suma, preferentemente por interpolación *spline* cúbico, de manera que se obtenga una función ángulo-tiempo, asociando la función ángulo-tiempo cada posición angular instantánea del elemento giratorio a un paso de tiempo, correspondiendo los pasos de tiempo a los franqueos de cada frente ascendente sobre la duración de adquisición,
- muestrear dicha posición angular a paso de tiempo constante,
- efectuar una doble derivación temporal de la función ángulo-tiempo, de manera que se obtenga una señal de aceleración angular instantánea,
- filtrar dicha señal de aceleración angular instantánea sobre una banda de frecuencia predeterminada.

10

15

20

Ventajosamente, los medios de determinación comprenden un segundo contador de alta frecuencia dispuesto para medir los intervalos de tiempo entre un primer frente ascendente y un segundo frente ascendente, estando el segundo frente ascendente separado del primer frente ascendente por lo menos por un frente ascendente intermedio, estando el segundo contador preferentemente ligado al reloj de alta frecuencia del primer contador.

25

En un modo de realización, el elemento giratorio presenta un cárter, y los medios de determinación comprenden por lo menos un acelerómetro montado en el cárter.

30

Otras características y ventajas aparecerán en la descripción siguiente de un modo de realización de un procedimiento de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador según la invención, dado a título de ejemplo no limitativo, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

35

- la figura 1 es un gráfico que representa una señal de velocidad angular instantánea (en revoluciones por minuto) del elemento giratorio sobre una duración de adquisición (en número de revoluciones de un taquímetro),
- la figura 2 es un gráfico que representa la transformada discreta de Fourier (en revoluciones por minuto) de la señal de velocidad angular ilustrada en la figura 1 muestreada a un paso angular constante en función de la frecuencia de orden (en acontecimiento por revolución del taquímetro),
- la figura 3 es un gráfico que representa la señal de velocidad angular instantánea ilustrada en la figura 1 después del ventanaje,
- la figura 4 es un gráfico que representa la transformada discreta de Fourier de la señal de velocidad angular ilustrada en la figura 3,
- la figura 5 es una vista por debajo de un órgano de fijación de un taquímetro sobre un árbol del aerogenerador,
- la figura 6 es una vista frontal del órgano ilustrado en la figura 5.

40

45

50

55

El procedimiento de vigilancia ilustrado en las figuras 1 a 4 comprende las etapas que consisten en:

- a) determinar una señal de velocidad angular instantánea, anotada  $\omega$ , del elemento giratorio sobre una duración de adquisición (ilustrada en la figura 1),
- b) muestrear la señal de velocidad angular  $\omega$  a un paso angular constante sobre un número de muestras determinado, estando la señal de velocidad angular muestreada al  $i^{\text{ésimo}}$  paso de ángulo anotada  $\omega(i)$ ,
- c) calcular la transformada discreta de Fourier de la señal de velocidad angular muestreada en la etapa b) de manera que se obtenga un espectro de orden de la señal de velocidad angular  $\omega(i)$ ,
- d) detectar la frecuencia fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre el espectro de

60

65

orden de la señal de velocidad angular  $\omega(i)$ .

La etapa a) y la etapa b) comprenden las etapas que consisten en:

- 5 - montar un taquímetro sobre el elemento giratorio, proporcionando el taquímetro una serie de impulsos representativa de la posición angular instantánea  $\omega$  del elemento giratorio,
- medir los intervalos de tiempo entre dos frentes ascendentes sucesivos de la serie de impulsos, anotados  $\Delta t(i)$ , por medio de un contador de alta frecuencia.

10 El taquímetro presenta una resolución de frecuencia anotada R. El contador de alta frecuencia proporciona una señal de reloj que presenta una frecuencia anotada  $F_H$ .

La señal de velocidad angular muestreada  $\omega(i)$  se determina según la ecuación siguiente:

$$\omega(i) = \frac{2\pi F_H}{R \Delta t(i)}$$

15 El espectro de orden obtenido en la etapa c) presenta una componente de frecuencia de tipo banda ancha (ilustrado en la figura 2), y la etapa c) comprende una etapa que consiste en aplicar un ventanaje anotado  $w(i)$ , preferentemente de tipo Hanning, a la señal de velocidad angular muestreada  $\omega(i)$  durante la etapa b), estando el ventanaje configurado para retirar la componente de frecuencia de tipo banda ancha.

Para ello, se considera la señal de velocidad angular muestreada  $\omega(i)$  sobre un intervalo de tiempo  $[a : b]$ .

- 25 La etapa que consiste en aplicar un ventanaje comprende una etapa previa que consiste en retirar el valor medio de la señal de velocidad angular muestreada  $\omega(i)$ . La señal obtenida, anotada  $\omega_0(i)$  verifica la ecuación siguiente:

$$\omega_0(i) = \omega(i) - \frac{1}{b-a} \int_a^b \omega(i)$$

- 30 Se aplica entonces el ventanaje  $w(i)$ . La señal obtenida, anotada  $\omega_{fen}(i)$ , verifica la ecuación siguiente:

$$\omega_{fen}(i) = \omega_0(i) \cdot w(i)$$

- 35 Después, se reinyecta el valor medio de la señal. La señal obtenida, anotada  $\omega_{fen}(i)$  (ilustrada en la figura 3), verifica la ecuación siguiente:

$$\omega_{fen}(i) = \omega_{0fen}(i) + \omega(i) - \omega_0(i)$$

40 El procedimiento de vigilancia ilustrado en las figuras 1 a 4 puede comprender además las etapas que consisten en:

- medir el valor medio del par ejercido sobre la duración de adquisición,
- atribuir por lo menos un indicador a la frecuencia fundamental de aparición detectada durante la etapa d) sobre la duración de adquisición, correspondiendo el indicador preferentemente a la amplitud del espectro de orden obtenido en la etapa c) para la frecuencia fundamental de aparición o a una combinación lineal de las amplitudes de dicho espectro de orden para los armónicos de la frecuencia fundamental de aparición,
- normalizar los indicadores obtenidos sobre la duración de adquisición con respecto a un indicador de referencia.

50 Más precisamente, se consideran N señales representativas de la velocidad instantánea  $\omega$  del elemento giratorio sobre la duración de adquisición. Para cada una de dichas N señales, está atribuido un indicador anotado  $x(n)$ , siendo n un número entero. El indicador  $x(n)$  corresponde al fallo vigilado. Evidentemente, si se deben vigilar varios fallos, se atribuyen entonces varios indicadores, correspondiendo cada uno de ellos a un fallo a vigilar. Es posible asimismo atribuir varios indicadores para un mismo fallo vigilado. Para cada señal  $x(n)$ , se mide el valor medio de la señal de velocidad angular instantánea  $\omega$  y el valor medio de par. Es posible asimismo utilizar unos estimadores estadísticos (variancia, Kurtosis) obtenidos a partir de otros tipos de señales tales como la aceleración o la velocidad del viento para parametrizar la normalización. Se habla por lo tanto de estimador estadístico del parámetro de normalización, siendo este estimador estadístico anotado  $v(n)$ , en referencia a la velocidad media de la señal de

velocidad angular instantánea  $\omega$ .

Por consiguiente, por "parámetro de normalización" se entiende indiferentemente:

- 5 - la velocidad de rotación instantánea  $\omega$  del elemento giratorio,
- el par ejercido sobre el elemento giratorio,
- la potencia producida por el aerogenerador,
- la aceleración angular instantánea del elemento giratorio,
- 10 - la velocidad del viento.

Además, por "estimador estadístico" se entiende en particular indiferentemente un estimador:

- 15 - de la media,
- de la variancia.

Entre las  $N$  señales, se diferencian las  $N_1$  primeras señales que permiten establecer el comportamiento de referencia de las  $N_2$  señales siguientes que serán normalizadas ( $N=N_1+N_2$ ).

Por "normalizados" se entiende centrados y/o reducidos, teniendo en cuenta respectivamente su valor medio y su desviación estándar.

Las  $N_1$  señales se han registrado antes de las  $N_2$  señales. Los indicadores  $x(n)$ ,  $n \leq N_1$  son trazados en función de  $v(n)$ . Un método de regresión o de interpolación permite estimar la amplitud media del indicador en función de la velocidad media de la señal de velocidad angular instantánea  $\omega$  que ha permitido obtenerla. Se puede utilizar una regresión lineal o una estimación lineal por partes para estimar la función de referencia  $x(v)$  a partir de los  $N_1$  indicadores. Para la estimación lineal por partes, el intervalo barrido por el estimador estadístico del parámetro de normalización  $v(n)$ , siendo dicho intervalo anotado  $I$ , se divide en subintervalos complementarios de dimensión fijada (no necesariamente constante), siendo los subintervalos anotados  $I_1, I_2, \dots, I_i$ . Estos subintervalos verifican las relaciones siguientes:

$$I_1 \cup I_2 \cup \dots \cup I_i = I \quad \forall a, b \in [1, i], I_a \cap I_b = \emptyset$$

Los  $N_1$  puntos están repartidos entre los diferentes subintervalos. Para cada subintervalo, se calcula el valor medio de los indicadores así como el valor medio del estimador estadístico del parámetro de normalización  $v(n)$  para obtener las coordenadas de puntos que forman la estimación lineal por partes denominada de referencia.

Es posible asimismo calcular varios estimadores estadísticos de los indicadores tales como el valor medio y la varianza, así como el valor medio del estimador estadístico del parámetro de normalización  $v(n)$  para obtener las coordenadas de los puntos que forman las estimaciones lineales por partes denominada de referencia. Estas estimaciones de referencia generan las funciones de referencia  $x(v)$  por interpolación lineal.

Las estimaciones de las funciones de referencia  $x_1(v)$  y  $x_2(v)$  son unas funciones que asocian respectivamente valor medio y variancia empírica al estimador estadístico del parámetro de normalización  $v(n)$ . El estimador estadístico del parámetro de normalización  $v(n)$  de las  $N_1$  señales permite normalizar el indicador de las  $N_2$  señales con el valor medio del indicador estimado a partir de las funciones de referencia  $x_1(v)$  y  $x_2(v)$ . Se recuerda que se entiende por "normalizar" la operación que consiste en centrar y/o reducir el indicador.

Si se anota  $x_{norm}$  el indicador normalizado, se verifica la relación siguiente:

$$x_{norm}(n) = \frac{x(n) - x_1(v(n))}{x_2(v(n))}$$

Los indicadores normalizados son observados cronológicamente a continuación para permitir la vigilancia del elemento giratorio en condición de funcionamiento, por ejemplo a través de un histograma. Se pueden establecer unos valores umbrales para poner en evidencia la evolución de un fallo o la aparición de un fallo.

En las figuras 5 y 6, se ilustra un elemento de fijación 1 de un codificador que forma el taquímetro sobre un árbol del aerogenerador, no siendo la geometría del árbol previamente conocida.

Para ello, el órgano de fijación 1 presenta un orificio mecanizado central 10 conformado para recibir el árbol, estando sobredimensionado el orificio mecanizado 10.

El órgano de fijación 1 comprende unos orificios roscados 11, estando cada orificio roscado 11 conformado para

recibir un tornillo de apoyo sin cabeza. Unos tornillos de este tipo están destinados a bloquear el órgano de fijación 1 sobre el árbol con el fin de evitar en particular un deslizamiento en rotación que conduce a una mala lectura angular del codificador o evitar un deslizamiento axial que conduce a una cabeza de lectura del codificador fuera del campo de lectura del codificador.

5 El órgano de fijación 1 está mecanizado en un cilindro macizo y después cortado en dos para permitir su ensamblaje alrededor de dicho árbol del aerogenerador.

10 Evidentemente, el modo de realización de la invención descrito anteriormente no presenta ningún carácter limitativo. De pueden aportar detalles y mejoras en otras variantes de realización sin apartarse por ello del ámbito de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador, estando el procedimiento caracterizado por que comprende las etapas que consisten en:
- a) determinar una señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) del elemento giratorio sobre una duración de adquisición,
  - b) muestrear la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) a un paso angular constante sobre un número de muestras determinado,
  - c) calcular la transformada discreta de Fourier de la señal representativa de la velocidad angular muestreada ( $\omega(i)$ ) en la etapa b) de manera que se obtenga un espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular,
  - d) detectar la frecuencia fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre el espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.
2. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 1, caracterizado por que el espectro de orden de la señal de velocidad angular presenta una componente de frecuencia de tipo banda ancha, y por que los medios de cálculo están configurados para aplicar un ventanaje ( $w(i)$ ) a la señal representativa de la velocidad angular muestreada ( $\omega(i)$ ), estando el ventanaje configurado para retirar la componente de frecuencia de tipo banda ancha.
3. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la etapa b) comprende las etapas que consisten en:
- calcular el valor medio de la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) determinada en la etapa a) sobre la duración de adquisición,
  - completar la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) determinada en la etapa a) con un número de puntos que presentan cada uno un valor sustancialmente igual a dicho valor medio calculado de la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ), siendo el número de puntos determinado de manera que el número de muestras define un intervalo de tiempo múltiplo del periodo fundamental de aparición del fallo.
4. Procedimiento de vigilancia según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que comprende además las etapas que consisten en:
- medir el valor medio de una señal de velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) sobre la duración de adquisición,
  - medir el valor medio del par ejercido sobre el elemento giratorio sobre la duración de adquisición,
  - normalizar la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) determinada en la etapa a) con respecto a una señal representativa de la velocidad angular de referencia.
5. Procedimiento de vigilancia según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que comprende además las etapas que consisten en:
- medir el valor medio del par ejercido sobre la duración de adquisición,
  - atribuir por lo menos un indicador a la frecuencia fundamental de aparición detectada en la etapa d) sobre la duración de adquisición, correspondiendo el indicador preferentemente a la amplitud del espectro de orden obtenido en la etapa c) para la frecuencia fundamental de aparición o a una combinación lineal de las amplitudes de dicho espectro de orden para los armónicos de la frecuencia fundamental de aparición,
  - normalizar los indicadores obtenidos sobre la duración de adquisición con respecto a un indicador de referencia.
6. Procedimiento de vigilancia según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) determinada en la etapa a) presenta una frecuencia máxima, por que la etapa b) comprende una etapa que consiste en seleccionar una frecuencia de muestreo inferior al doble de dicha frecuencia máxima, y por que la etapa d) comprende una etapa que consiste en detectar la frecuencia de orden fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre una zona de repliegue del espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular obtenida en la etapa c).
7. Procedimiento de vigilancia según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la señal representativa

de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) determinada en la etapa a) es una señal acelerométrica muestreada a paso de tiempo constante, comprendiendo la etapa a) una etapa que consiste en montar un acelerómetro sobre un cárter del elemento giratorio.

- 5 8. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 7, caracterizado por que la etapa b) comprende una etapa que consiste en interpolar la señal acelerométrica.
9. Procedimiento de vigilancia según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) determinada en la etapa a) es una señal de velocidad angular instantánea ( $\omega$ ).
- 10 10. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 9, caracterizado por que la etapa a) y la etapa b) comprenden las etapas que consisten en:
- 15 - montar un taquímetro sobre el elemento giratorio, proporcionando el taquímetro una serie de impulsos representativa de la posición angular instantánea ( $\omega$ ) del elemento giratorio,
- medir los intervalos de tiempo entre dos frentes ascendentes, en particular sucesivos, de la serie de impulsos por medio de un primer contador de alta frecuencia que presenta un reloj de alta frecuencia.
- 20 11. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 10, caracterizado por que comprende una etapa que consiste en restar dos intervalos de tiempo sucesivos medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal representativa de la aceleración angular instantánea.
- 25 12. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 10, caracterizado por que comprende las etapas que consisten en:
- sumar los intervalos de tiempo medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal denominada de suma,
- 30 - interpolar la señal de suma, preferentemente por interpolación *spline* cúbico, de manera que se obtenga una función ángulo-tiempo, asociando la función ángulo-tiempo cada posición angular instantánea del elemento giratorio a un paso de tiempo, correspondiendo los pasos de tiempo a los franqueos de cada frente ascendente sobre la duración de adquisición,
- 35 - muestrear dicha posición angular a paso de tiempo constante,
- efectuar una doble derivación temporal de la función ángulo-tiempo de manera que se obtenga una señal de aceleración angular instantánea,
- 40 - filtrar dicha señal de aceleración angular instantánea sobre una banda de frecuencia predeterminada.
13. Procedimiento de vigilancia según una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado por que la etapa a) y la etapa b) comprenden una etapa que consiste en medir los intervalos de tiempo entre un primer frente ascendente y un segundo frente ascendente por medio de un segundo contador de alta frecuencia, estando el segundo frente ascendente separado del primer frente ascendente por lo menos por un frente ascendente intermedio, estando el segundo contador preferentemente ligado al reloj de alta frecuencia del primer contador.
- 45 14. Sistema de vigilancia de un elemento giratorio que pertenece a una transmisión mecánica de un aerogenerador, estando el sistema de vigilancia caracterizado por que comprende:
- 50 - unos medios de determinación dispuestos para determinar una señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) del elemento giratorio sobre una duración de adquisición,
- 55 - unos medios de muestreo configurados para muestrear la señal representativa de la velocidad angular ( $\omega$ ) a un paso angular constante sobre un número de muestras determinado,
- unos medios de cálculo configurados para calcular la transformada discreta de Fourier de la señal representativa de la velocidad angular muestreada ( $\omega(i)$ ) de manera que se obtenga un espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular,
- 60 - unos medios de detección dispuestos para detectar la frecuencia fundamental de aparición de un fallo del elemento giratorio sobre el espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular ( $\omega(i)$ ).
- 65 15. Sistema de vigilancia según la reivindicación 14, caracterizado por que el espectro de orden de la señal de velocidad angular presenta una componente de frecuencia de tipo banda ancha, y por que los medios de cálculo

están configurados para aplicar un ventanaje ( $w(i)$ ) a la señal representativa de la velocidad angular muestreada ( $\omega(i)$ ), estando el ventanaje configurado para retirar la componente de frecuencia de tipo banda ancha.

5 16. Sistema de vigilancia según la reivindicación 14 o 15, caracterizado por que los medios de muestreo están configurados para:

- calcular el valor medio de la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) sobre la duración de adquisición,

10 - completar la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) con un número de puntos que presentan cada uno un valor sustancialmente igual a dicho valor medio calculado, siendo el número de puntos determinado de manera que el número de muestras define un intervalo de tiempo múltiplo del periodo fundamental de aparición del fallo.

15 17. Sistema de vigilancia según una de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizado por que comprende además:

- unos medios de medición del valor medio de una señal de velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) sobre la duración de adquisición,

20 - unos medios de medición del valor medio del par ejercido sobre el elemento giratorio sobre la duración de adquisición,

- unos medios de normalización de la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) con respecto a una señal representativa de la velocidad angular de referencia.

25 18. Sistema de vigilancia según una de las reivindicaciones 14 a 17, caracterizado por que comprende además:

- unos medios de medición del valor medio de una señal de velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) sobre la duración de adquisición,

30 - unos medios de medición del valor medio del par ejercido sobre el elemento giratorio sobre la duración de adquisición,

35 - unos medios para atribuir por lo menos un indicador a la frecuencia fundamental de aparición detectada sobre la duración de adquisición, correspondiendo el indicador preferentemente a la amplitud del espectro de orden para la frecuencia fundamental de aparición o a una combinación lineal de las amplitudes de dicho espectro de orden para los armónicos de la frecuencia fundamental de aparición,

40 - unos medios de normalización de los indicadores obtenidos sobre la duración de adquisición con respecto a un indicador de referencia.

19. Sistema de vigilancia según una de las reivindicaciones 14 a 18, caracterizado por que la señal representativa de la velocidad angular instantánea ( $\omega$ ) presenta una frecuencia máxima,

45 por que los medios de muestreo están configurados para seleccionar una frecuencia de muestreo inferior al doble de dicha frecuencia máxima,

50 y por que los medios de detección están configurados para detectar la frecuencia de orden fundamental de aparición del fallo del elemento giratorio sobre una zona de repliegue del espectro de orden de la señal representativa de la velocidad angular.

20. Sistema de vigilancia según una de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado por que los medios de determinación comprenden:

55 - un taquímetro montado sobre el elemento giratorio, proporcionando el taquímetro una serie de impulsos representativa de la posición angular instantánea del elemento giratorio,

60 - un primer contador de alta frecuencia dispuesto para medir los intervalos de tiempo entre dos frentes ascendentes, en particular sucesivos, de la serie de impulsos, formando el primer contador los medios de muestreo, presentando el primer contador un reloj de alta frecuencia.

21. Sistema de vigilancia según la reivindicación 20, caracterizado por que los medios de cálculo están configurados para restar dos intervalos de tiempo sucesivos medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal representativa de la aceleración angular instantánea.

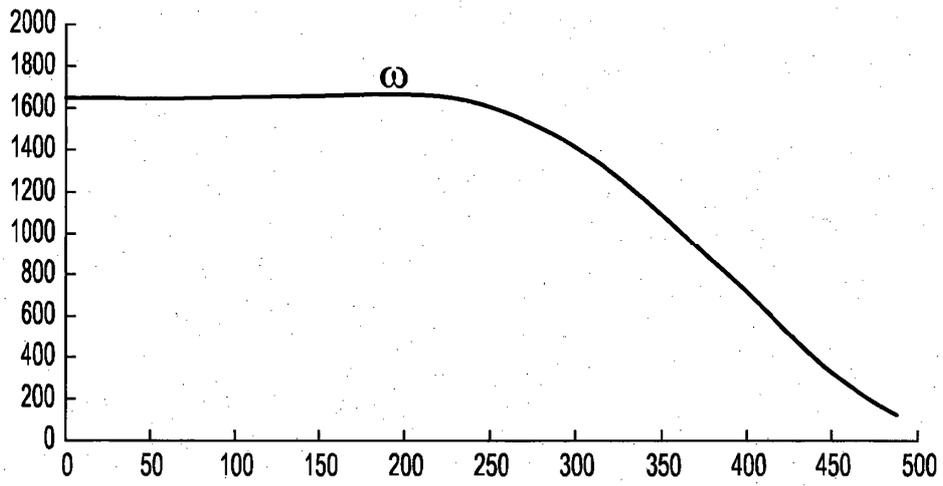
65 22. Sistema de vigilancia según la reivindicación 20, caracterizado por que los medios de cálculo están configurados

para:

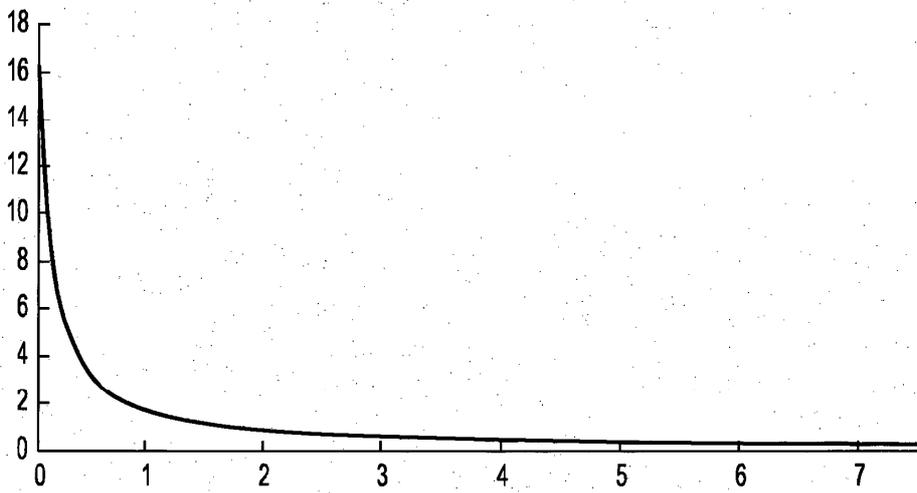
- 5 - sumar los intervalos de tiempo medidos entre dos frentes ascendentes sobre la duración de adquisición de manera que se obtenga una señal denominada de suma,
- 10 - interpolar la señal de suma, preferentemente por interpolación *spline* cúbico, de manera que se obtenga una función ángulo-tiempo, asociando la función ángulo-tiempo cada posición angular instantánea del elemento giratorio a un paso de tiempo, correspondiendo los pasos de tiempo a los franqueos de cada frente ascendente sobre la duración de adquisición,
- 15 - muestrear dicha posición angular a paso de tiempo constante,
- efectuar una doble derivación temporal de la función ángulo-tiempo de manera que se obtenga una señal de aceleración angular instantánea,
- filtrar dicha señal de aceleración angular instantánea sobre una banda de frecuencia predeterminada.

20 23. Sistema de vigilancia según una de las reivindicaciones 20 a 22, caracterizado por que los medios de determinación comprenden un segundo contador de alta frecuencia dispuesto para medir los intervalos de tiempo entre un primer frente ascendente y un segundo frente ascendente, estando el segundo frente ascendente separado del primer frente ascendente por lo menos por un frente ascendente intermedio, estando el segundo contador preferentemente ligado al reloj de alta frecuencia del primer contador.

25 24. Sistema de vigilancia según una de las reivindicaciones 14 a 19, caracterizado por que el elemento giratorio presenta un cárter, y por que los medios de determinación comprenden por lo menos un acelerómetro montado en el cárter.



*Fig. 1*



*Fig. 2*

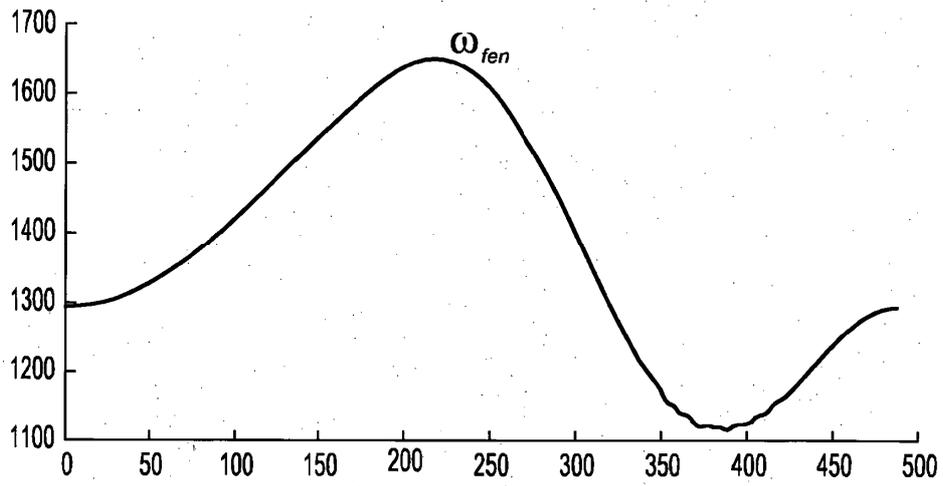


Fig. 3

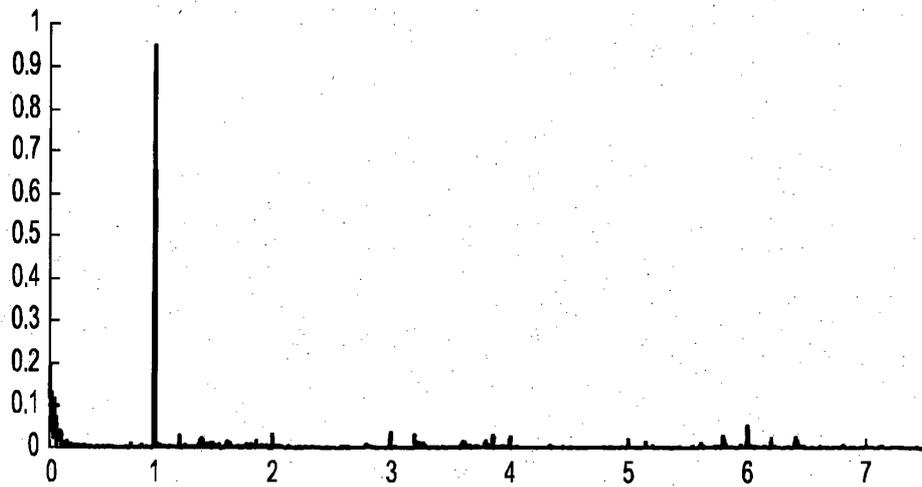


Fig. 4

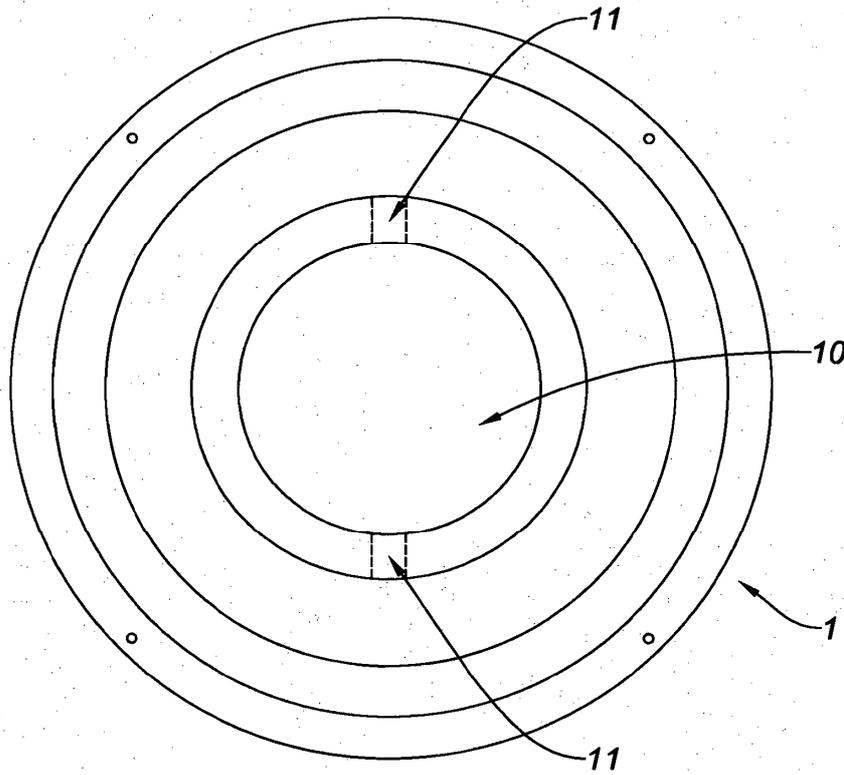


Fig. 5

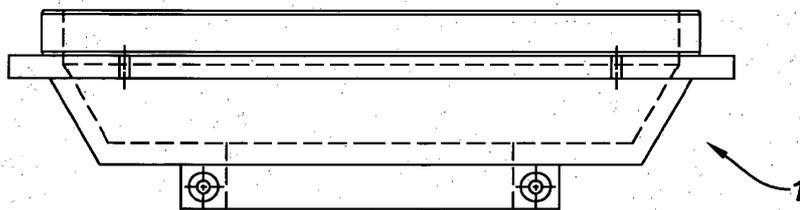


Fig. 6