

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 584**

51 Int. Cl.:
G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08786984 .8**
96 Fecha de presentación: **07.08.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2179337**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.04.2010**

54 Título: **MONITORIZACIÓN DE FRECUENCIAS DE PALA DE UNA TURBINA EÓLICA.**

30 Prioridad:
13.08.2007 DK 200701144

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.11.2011

73 Titular/es:
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:
**EGEDAL, Per y
STIESDAL, Henrik**

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 368 584 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).

DESCRIPCION

Monitorización de frecuencias de pala de una turbina eólica.

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento para monitorizar frecuencias de pala de una turbina eólica y a un sistema de monitorización para llevar a cabo el procedimiento.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Se conoce monitorizar frecuencias de pala de una turbina eólica para monitorizar si las frecuencias de cada pala están cambiando debido a por ejemplo defectos de material en las palas, rayos u otras influencias. La monitorización se realiza habitualmente colocando uno o más sensores de respuesta rápida como acelerómetros, en cada pala de una turbina eólica tal como se describe en el documento WO 99/57435 A1 y se muestra en la figura 1. Se trata de una solución cara debido a la necesidad de muchos sensores caros.

20 En las turbinas eólicas existentes que no tienen los sensores mencionados incorporados en las palas para monitorizar las frecuencias de pala, resulta muy difícil y caro incorporar los sensores después, ya que tienen que colocarse en cada pala.

SUMARIO DE LA INVENCION

25 Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para monitorizar frecuencias de pala de una turbina eólica y un sistema de monitorización para llevar a cabo el procedimiento que sea tanto más fácil de incorporar en turbinas eólicas existentes como menos caro.

30 Este objeto se resuelve mediante un procedimiento para monitorizar frecuencias de pala de una turbina eólica según la reivindicación 1 y mediante un sistema de monitorización según la reivindicación 11. Las reivindicaciones dependientes contienen desarrollos adicionales de la invención.

35 Mediante la invención, se une un acelerómetro en el centro del buje giratorio de una turbina eólica y que miden de ese modo las vibraciones del buje. Para extraer las señales de vibración que se originan de cada pala, las señales de vibración se modulan combinándolas con las señales de medición del detector de ángulo azimutal (ángulo de rotación), lo que se usa normalmente para el control del paso. Para extraer adicionalmente cada frecuencia de pala se usa una unidad de transformación rápida de Fourier (FFT) o de bucle de enganche de fase (PLL) sobre las señales moduladas del acelerómetro.

40 La modulación de las señales de vibración puede realizarse con una función que tiene en cuenta el ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios, y puede basarse, en particular, en el coseno del ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios o en la suma del coseno del ángulo azimutal de la pala o el buje y un número constante.

45 Para monitorizar adicionalmente un cambio grave y alarmante en cada frecuencia de pala se compara cada frecuencia de pala con las otras frecuencias de pala y se activa una alarma si se alcanza un nivel dado.

50 Mediante la invención, se encuentra alternativamente el ángulo azimutal mediante el uso de las aceleraciones medidas en dos direcciones que representan las fuerzas centrífugas y fuerzas de vibración del buje y la alimentación de estas señales en una unidad de bucle de enganche de fase (PLL) que establece una fase del buje giratorio que representa el ángulo azimutal de rotación. De ese modo, no es necesario el detector de ángulo azimutal mencionado anteriormente y el sistema de monitorización se integra en una unidad.

BREVES DESCRIPCIONES DE LOS DIBUJOS

55 La invención se describirá ahora en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 muestra una turbina eólica según la técnica anterior.

La figura 2 muestra una turbina eólica según la invención en una vista lateral.

60 La figura 3 muestra una turbina eólica según la invención en una vista frontal.

La figura 4 muestra los picos medidos y modulados del espectro de frecuencias de cada borde de pala.

65 La figura 5 muestra respectivamente el espectro de frecuencias medido total y el espectro de frecuencias modulado de cada pala.

La figura 6 muestra un ejemplo de las frecuencias calculadas de cada pala durante un corto periodo y cómo se muestra claramente un cambio en la frecuencia de una de las palas y se dispara una alarma.

5 La figura 7 muestra un sistema para llevar a cabo el procedimiento según la invención en forma de un diagrama de bloques.

La figura 8 muestra un sistema alternativo para llevar a cabo la invención en forma de un diagrama de bloques.

10 La figura 9 muestra las fuerzas de rotación medidas que actúan sobre el acelerómetro ubicado en el buje giratorio de una turbina eólica.

La figura 10 muestra en forma de un diagrama de bloques un dispositivo para establecer el ángulo azimutal de rotación.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA

El sistema de monitorización se incorpora en una turbina 1 eólica tal como se muestra en las figuras 2 y 3 que comprende una torre 2, una góndola 3, un buje 4 y una o más palas 5 giratorias. El sistema de monitorización consiste en un acelerómetro 6 con un controlador o calculador incorporado (no mostrado) unido al centro del buje 4 para detectar vibraciones del buje 4 que se originan a partir de las vibraciones de cada pala 5 giratoria. El acelerómetro detecta las vibraciones en tres direcciones, transversal al buje (dirección X_{rot} y dirección Z_{rot} perpendiculares entre sí) y a lo largo del buje (dirección y) y gira con el buje y las palas. Cuando el acelerómetro 6 con el controlador o calculador incorporado está unido al buje 4 en extensión de la góndola 3 en la parte superior de torre 2, es obvio que el acelerómetro detecta las frecuencias de todas las palas a través de las vibraciones de la torre 2.

25 Alternativamente, si no es necesaria la medición de vibración en la dirección y y a lo largo del buje 4, entonces el acelerómetro 6 sólo está detectando las vibraciones en las otras dos direcciones mencionadas anteriormente. Esto permite un acelerómetro 6 de dos vías más sencillo y más barato.

30 Para extraer cada frecuencia de pala, el sistema de monitorización usa el ángulo de rotación (ángulo azimutal) Φ de las palas giratorias. El ángulo azimutal de rotación Φ puede detectarse mediante el uso de un sensor (no mostrado) que normalmente se usa para el control del paso, que es un sistema de control común de una turbina eólica.

35 Alternativamente, tal como se muestra en las figuras 9 y 10, el ángulo azimutal de rotación Φ se encuentra mediante el uso de las aceleraciones medidas en dos direcciones perpendiculares, dirección x_{rot} y dirección z_{rot} , en las que las aceleraciones medidas representan las fuerzas de rotación perpendiculares F_x y F_z que actúan sobre el buje y la alimentación de esas señales a una unidad 7 de bucle de enganche de fase (PLL) que establece tanto una señal de fase del buje giratorio que representan el ángulo azimutal de rotación Φ como la velocidad de rotación/frecuencia angular ω del buje 4. La velocidad de rotación ω es útil para el control de la turbina 1 eólica. Las fuerzas de rotación perpendiculares medidas F_x y F_z que actúan sobre el buje están oscilando entre un valor máximo cuando apuntan en la misma dirección que la fuerza gravitacional F_g y un valor mínimo cuando apuntan de manera opuesta a la dirección de la fuerza gravitacional F_g . Por tanto, el acelerómetro 6 mide los valores de oscilación de F_x y F_z cuyas señales se usan entonces para encontrar el ángulo azimutal de rotación Φ y la velocidad de rotación ω del buje 4 tal como se describió anteriormente.

45 Mediante la invención por el presente documento es posible usar sólo un acelerómetro 6 colocado en el buje 4 de una turbina 1 eólica para monitorizar cada frecuencia de pala. Tal como se mencionó anteriormente, esto se realiza mediante el uso también de la posición del ángulo de rotación (ángulo azimutal) Φ de las palas 5 (A, B y C), y mediante el uso de los valores de coseno del ángulo azimutal Φ multiplicados por las frecuencias en la dirección x monitorizadas por el acelerómetro 6 en el buje 4 (modulación). Mediante el uso de los valores de coseno del ángulo azimutal Φ se monitorizan principalmente las vibraciones en la dirección x de cada pala, también denominadas vibraciones en el sentido del borde. Esto se realiza basándose en la teoría de que las frecuencias del borde de pala (en la dirección x) tienen la mayor influencia sobre el buje 4 con el acelerómetro 6 cuando las palas 5 están en una posición vertical y casi no influyen en la posición horizontal. Mediante el uso de las frecuencias correspondientes a un desplazamiento de las palas 5 de respectivamente 0 grados, 120 grados y 240 grados (en una turbina eólica de tres palas típica), y aplicando una transformación rápida de Fourier (FFT) a las señales moduladas del acelerómetro, se monitorizan las frecuencias de cada pala 5.

60 Alternativamente, las frecuencias medidas del acelerómetro 6 en la dirección y (a lo largo del buje 4) se usan para calcular cada frecuencia de pala. Entonces lo que se mide son las vibraciones en el sentido del batimiento de las palas 5. Entonces, no es adecuado usar los valores de coseno del ángulo azimutal Φ cuando las palas vibran en la dirección y y durante los 360 grados totales de rotación. Pero cuando en el momento en que la carga de la torre es mayor en la posición vertical superior de las palas que en la posición vertical inferior de las palas, sería adecuado multiplicar las frecuencias detectadas por una función que simule estas circunstancias, como un número constante (por ejemplo, el

número 1) sumado al valor de coseno del ángulo azimutal Φ y luego dividir este número por 2 ($(1+\cos(\text{ángulo azimutal } \Phi))/2$). Esta función da un número entre 1 y 0 en el intervalo de 0 y 360 grados, y de ese modo se extrae cada frecuencia de pala tal como se describió adicionalmente antes.

5 La unidad de cálculo o controlador que tiene entrada desde las señales detectadas del acelerómetro 6 y el ángulo azimutal Φ comprende una unidad de modulación que modula las señales detectadas, una unidad de transformación rápida de Fourier (FFT o DFFT) o una unidad de oscilación de bucle de enganche de fase (PLL) que extrae cada frecuencia de pala de las señales moduladas, y además una unidad de alarma que activa una alarma y/o detiene la turbina eólica cuando el cambio de cada frecuencia de pala alcanza un cierto nivel. Alternativamente, también la unidad
10 7 de bucle de enganche de fase (PLL) para producir el ángulo azimutal Φ y una frecuencia angular ω basándose en las señales del acelerómetro, es una parte integrada de la unidad de cálculo o controlador. Todas estas unidades en el controlador no se muestran.

15 Considerando sólo las vibraciones debidas a la frecuencia de resonancia en el sentido del borde, las aceleraciones en el sentido del borde de la pala para cada pala (A, B y C) pueden describirse según las fórmulas siguientes:

$$a_A(t) = k \cdot \cos(\omega_A \cdot t)$$

$$a_B(t) = k \cdot \cos(\omega_B \cdot t)$$

$$a_C(t) = k \cdot \cos(\omega_C \cdot t)$$

En las que $a(t)$ es la aceleración en el sentido del borde de la pala, ω es la frecuencia de resonancia en el sentido del borde, t es el tiempo y k es una constante.

20 Cuando el acelerómetro 6 está girando con el buje 4 y las palas 5 (A, B y C) y cuando el acelerómetro 6 está colocado tal como se muestra en la figura 3 con la dirección Z_{rot} del acelerómetro 6 a lo largo de pala A y la dirección X_{rot} del acelerómetro 6 perpendicular a la pala A, y las otras palas están colocadas con un desplazamiento de 120 grados alrededor del buje, la influencia en la forma de las aceleraciones a_x sobre el buje 4 de cada pala 5 se divide en una componente a_{Xrot} y una componente a_{Zrot} de la siguiente forma:

25

$$a_X(t, \phi) = a_{Xrot}(t) \cdot \cos(\phi) + a_{Zrot}(t) \cdot \sin(\phi)$$

30 En la que $a_x(t, \phi)$ es la aceleración del buje en la dirección x estacionaria a través del buje, a_{Xrot} es la aceleración del buje medida en la dirección de rotación X_{rot} , a_{Zrot} es la aceleración del buje medida en la dirección de rotación Z_{rot} , ϕ es el ángulo azimutal del rotor que gira y t es el tiempo. Si resulta adecuado, el acelerómetro 6 puede colocarse en otro ángulo en relación con las palas distinto al mencionado anteriormente y de ese modo hacer girar las coordenadas X_{rot} y Z_{rot} de rotación del acelerómetro sumando este ángulo al ángulo azimutal Φ del rotor.

35 Las vibraciones de borde en la pala 5 se acoplan en el buje 4 con una modulación 1p (una vez por modulación de revolución). Suponiendo que las vibraciones del borde de pala se acoplan en su mayor parte con el buje 4, cuando las palas 5 tienen una posición vertical (tal como se describió anteriormente), las vibraciones del buje 4 pueden describirse aproximadamente por:

$$a_X(t, \phi) = \left(a_A(t) \cdot \cos(\phi) + a_B(t) \cdot \cos\left(\phi - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + a_C(t) \cdot \cos\left(\phi - \frac{4 \cdot \pi}{3}\right) \right) \cdot k_2$$

40 En la que $a_x(t, \phi)$ es la aceleración del buje 4 en la dirección x estacionaria a través del buje, a_A es la aceleración de la pala A en el sentido del borde, a_B es la aceleración de la pala B en el sentido del borde, a_C es la aceleración de la pala C en el sentido del borde, ϕ es el ángulo azimutal del rotor, t es el tiempo y k_2 es una constante.

La modulación de la señal a_x de nuevo con respecto a la posición de la pala individual da 3 nuevas señales definidas por:

$$am_A = a_X \cdot \cos(\phi)$$

$$am_B = a_X \cdot \cos\left(\phi - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$am_C = a_X \cdot \cos\left(\phi - \frac{4 \cdot \pi}{3}\right)$$

5 En la figura 4 puede observarse que el espectro de frecuencias para am_A tiene su pico en la misma frecuencia que la frecuencia del borde de pala a_A . También puede observarse que la frecuencia de pala puede separarse o no considerando sólo el espectro de frecuencias para la aceleración de la góndola (a_x).

10 La figura 5 muestra un gráfico para los espectros de frecuencias para a_x y $am_{A..c}$. Pueden observarse los picos de frecuencia en 1,19 [Hz] para la pala C y 1,22 [Hz] para las palas A y B. Puede encontrarse el pico de frecuencia en el dominio de frecuencia, usando una transformación rápida de Fourier (FFT o DFFT). Entonces podrían ajustarse los datos de FFT usando un filtro y el valor máximo sería la frecuencia del borde de pala. El pico de frecuencia también podría detectarse en el dominio de tiempo, usando un bucle de enganche de fase (PLL) que sincroniza un oscilador interno con la señal de $am_{A..c}$. Cuando se sincroniza el PLL, la frecuencia del oscilador de PLL será igual a la frecuencia de pala.

15 La frecuencia de borde será variable con cambios en la temperatura de la pala. También habría cierta diferencia inicial en las frecuencias de pala, por ejemplo, debido a diferentes distribuciones de masa. Por tanto, la detección del cambio de frecuencia de una pala tiene que realizarse con respecto a las otras palas. En la fórmula siguiente se describe un procedimiento para detectar cambios relativos en la frecuencia de pala. A la frecuencia de pala, por ejemplo de la pala A (f_A) se resta el valor medio de las otras palas (F_B y F_C). La diferencia inicial (df_{A_init}) se resta para eliminar la desviación inicial. Esto podría encontrarse calculando el valor medio por ejemplo en un día.

$$df_A = f_A - \frac{F_B + F_C}{2} - df_{A_init}$$

$$df_B = f_B - \frac{F_A + F_C}{2} - df_{B_init}$$

$$df_C = f_C - \frac{F_A + F_B}{2} - df_{C_init}$$

25 Integrando el valor absoluto de la diferencia ($df_{A..c}$) de la que se resta una diferencia permitida ($df_{allowed}$) se obtiene una señal que aumenta rápidamente si hay una gran diferencia y lentamente cuando se tienen pequeñas desviaciones. Cuando $DiffLev_A$ (la misma analogía para $DiffLev_B$ y $DiffLev_C$) alcanza un nivel dado, debe activarse una alarma y debe detenerse la turbina.

$$DiffLev_A = DiffLev_A + \left| df_A \right| - df_{allowed} \quad @ \quad DiffLev_A \geq 0$$

30 La figura 6 muestra un ejemplo en el que la frecuencia de borde de la pala C está disminuyendo. Cuando se alcanza la diferencia permitida (fd_c), el nivel de diferencia ($DiffLev_A$) comienza a aumentar y dispara o activa la alarma, cuando alcanza 0,2.

35 La diferencia de frecuencia también podría calcularse considerando la razón entre las frecuencias en lugar de la diferencia absoluta:

$$df_{BA} = \frac{F_B}{F_A} - df_{BA_init}$$

$$df_{CA} = \frac{F_C}{F_A} - df_{CA_init}$$

Detección del nivel de diferencia de frecuencia:

- 5 1. Si la diferencia está variando en función de, por ejemplo, la velocidad del generador en funcionamiento normal sin daño de la pala, la diferencia $df_{A,c}$ debe integrarse con un número de integrador que debe realizar la integración en un intervalo de velocidad dado.
- 10 2. La alarma podría activarse cuando se alcanza una desviación máxima dada, sin usar el procedimiento de integración.

En la figura 7 se muestra en forma de un diagrama de bloques un resumen de un sistema para llevar a cabo el procedimiento según la invención, en el que se encuentra la frecuencia de pala mediante el uso de una FFT sobre la señal de aceleración modulada y se encuentra de ese modo el pico en el espectro.

15 El sistema comprende para cada pala una memoria 10A, 10B, 10C que almacena un factor de fase para la pala respectiva, un sumador 12A, 12B, 12C, una unidad 14A, 14B, 14C de función de coseno, un multiplicador 16A, 16B, 16C, una unidad 18A, 18B, 18C de FFT, y un detector 20A, 20B, 20C de pico. Una unidad 22 de cálculo de diferencia y un integrador 24 de nivel de diferencia son comunes para las tres palas de rotor.

20 Los multiplicadores 12A, 12B, 12C, están conectados cada uno a la memoria 10A, 10B, 10C respectiva para recibir el factor de fase almacenado en ella. Están conectados cada uno además al detector de azimut del rotor para recibir el ángulo azimutal del rotor detectado. En los sumadores 12A, 12B, 12C se suma el factor de fase respectivo al ángulo azimutal del rotor recibido y el resultado se envía a la unidad de función de coseno, que calcula el coseno de la suma recibida del ángulo azimutal del rotor y el factor de fase. Entonces se envía la suma al multiplicador 16A, 16B, 16C respectivo. Cada multiplicador 16A, 16B, 16C recibe además la señal del acelerómetro ubicado en el buje de la turbina eólica. En los multiplicadores 16A, 16B, 16C las aceleraciones recibidas se multiplican por el resultado del coseno respectivo mediante las unidades 14A, 14B, 14C de función de coseno. El resultado de la multiplicación, que representa una modulación de las vibraciones o señales detectadas, se envía entonces a la unidad 18A, 18B, 18C de FFT respectiva, en la que se realiza una transformación rápida de Fourier sobre las señales moduladas o vibraciones con el fin de extraer cada frecuencia de pala.

25 El resultado de la transformación rápida de Fourier se envía entonces al detector 20A, 20B, 20C de pico respectivo en el que se detectan los picos de frecuencia del resultado de espectros de frecuencias por las unidades de FFT y luego se envía a la unidad 22 de cálculo de diferencia. En la unidad de cálculo de diferencia se calcula la diferencia entre la frecuencia de pala respectiva y la función dependiendo de los valores medios de las otras palas, tal como se describió anteriormente. Estas diferencias se introducen entonces en el integrador de nivel de diferencia y en el disparador 24 de alarma en el que se realiza la integración tal como se describió anteriormente y se dispara una alarma cuando se cumplen los criterios fijados.

30 En la figura 8 se muestra un sistema alternativo para llevar a cabo el procedimiento según la invención, en el que se encuentra la frecuencia de pala mediante el uso de un PLL (oscilación de bucle de enganche de fase) 21A, 21B, 21C en la señal de aceleración modulada. En la presente realización, están ubicados filtros 19A, 19B, 19C de paso banda entre el multiplicador 16A, 16B, 16C y el PLL 21A, 21B, 21C para filtrar las señales moduladas antes de introducirlas en el PLL respectivo.

45

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para monitorizar frecuencias de pala de una turbina eólica que comprende una torre, una góndola, un buje y una o más palas giratorias, caracterizado por un acelerómetro unido al buje que detecta las vibraciones del buje en dos o más direcciones, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - modular las vibraciones o señales detectadas del acelerómetro mediante el uso de una señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios,
 - extraer las frecuencias de pala de las señales moduladas del acelerómetro.
 -
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la extracción de las frecuencias de pala de las señales moduladas del acelerómetro se realiza aplicando una transformación rápida de Fourier (FFT o DFFT) o una oscilación de bucle de enganche de fase (PLL) sobre las señales moduladas del acelerómetro.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que un sensor detecta la señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además la etapa de medir la señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios basándose en variaciones en la medición de una fuerza de rotación F_x y una fuerza de rotación perpendicular F_z que gira con el buje y que actúa sobre el buje en una dirección primera y segunda debido a la fuerza gravitacional.
- 25 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que una o más señales del acelerómetro que representan las fuerzas de rotación del buje (F_x , F_z) se alimentan a una unidad (7) de bucle de enganche de fase y de ese modo se establece la señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios y/o una señal de frecuencia angular.
- 30 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la modulación se basa en el coseno del ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios.
- 35 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la modulación se basa en la suma del coseno del ángulo azimutal de la pala o el buje y un número constante.
- 40 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además la etapa de calcular una nueva frecuencia de cada pala comparando cada frecuencia de pala con las otras frecuencias de pala y usar esta comparación para calcular el cambio en cada frecuencia de pala.
- 45 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además la etapa de calcular una nueva frecuencia de cada pala basándose en la diferencia entre cada frecuencia de pala.
- 50 10. Procedimiento según la reivindicación 8 ó 9, que comprende además la etapa de activar una alarma y/o detener la turbina eólica cuando la nueva frecuencia calculada alcanza un cierto nivel.
- 55 11. Sistema de monitorización que monitoriza las frecuencias de pala de una turbina (1) eólica que comprende una torre (2), una góndola (3), un buje (4) y una o más palas (5) giratorias, caracterizado por un acelerómetro (6) unido al buje (4) que detecta las vibraciones del buje (4) en dos o más direcciones, un medio para proporcionar una señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios detectada, una unidad de cálculo o controlador con entrada desde el medio para proporcionar una señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios detectada, comprendiendo la unidad de cálculo o controlador una unidad (10, 12, 14, 16) de modulación que modula las señales detectadas mediante el uso de la señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios, una unidad (18) de transformación rápida de Fourier (FFT o DFFT) o una unidad (21) de oscilación de bucle de enganche de fase (PLL) que extrae cada frecuencia de pala de la señal modulada.
- 60 12. Sistema de monitorización según la reivindicación 11, en el que el medio para proporcionar una señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios detectada es un detector de ángulo azimutal.
- 65 13. Sistema de monitorización según la reivindicación 11, en el que el medio para proporcionar una señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios detectada comprende una unidad (7) de bucle de enganche de fase.
14. Sistema de monitorización según la reivindicación 13, en el que el acelerómetro (6) está adaptado para medir aceleraciones que representan las fuerzas de rotación perpendiculares F_x y F_z que actúan sobre el buje y la unidad (7) de bucle de enganche de fase está conectado al acelerómetro (6) para recibir señales de aceleración que representan las fuerzas de rotación perpendiculares F_x y F_z .
15. Sistema de monitorización según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en el que la unidad (7) de

bucle de enganche de fase tiene una o más entradas desde el acelerómetro (6) y con la señal de ángulo azimutal de la pala o el buje giratorios o/y una señal de frecuencia angular como la salida a la unidad de cálculo o controlador.

5

16. Sistema de monitorización según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, que comprende además una unidad de alarma en el controlador que activa una alarma y/o detiene la turbina eólica cuando el cambio de una o más frecuencias de pala alcanza un cierto nivel.

FIG 1 TÉCNICA ANTERIOR

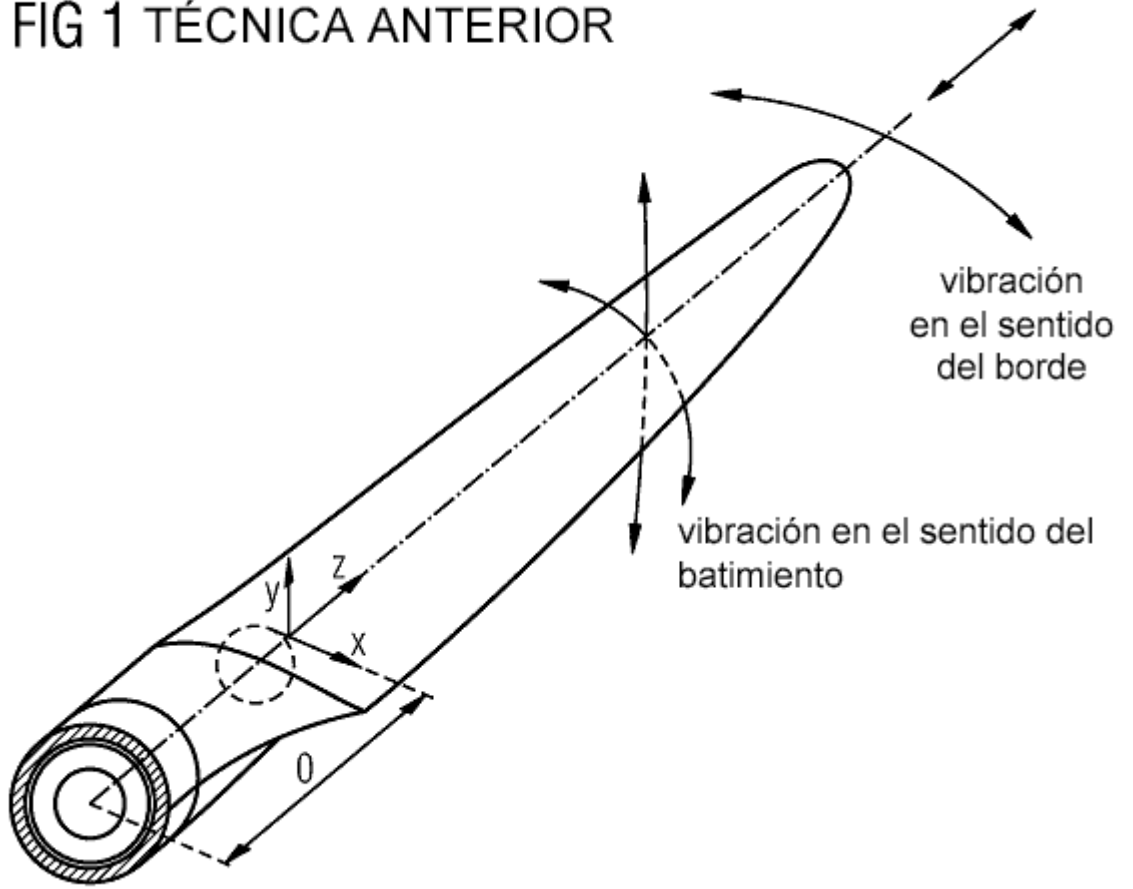


FIG 2

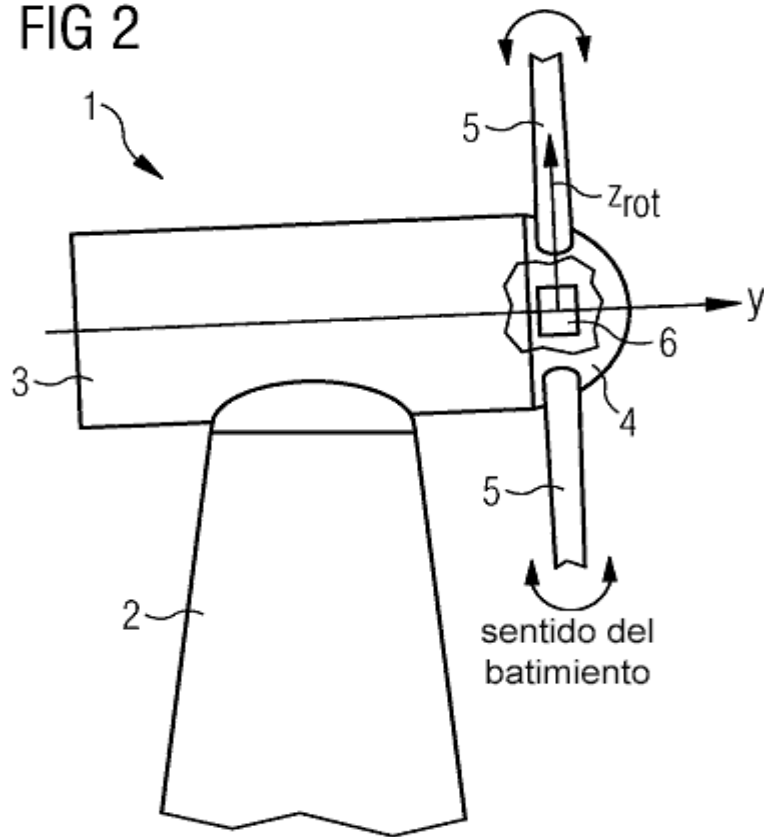


FIG 3

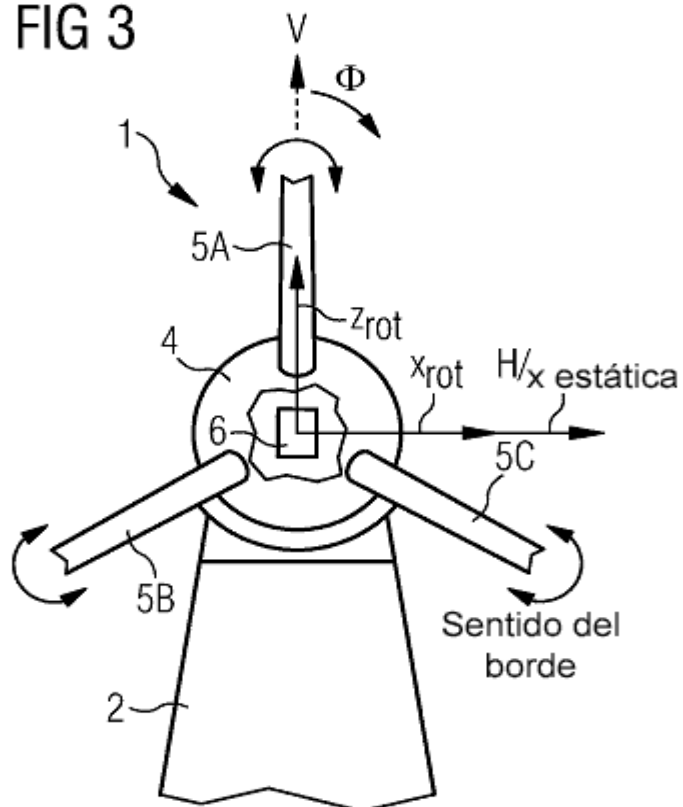


FIG 4

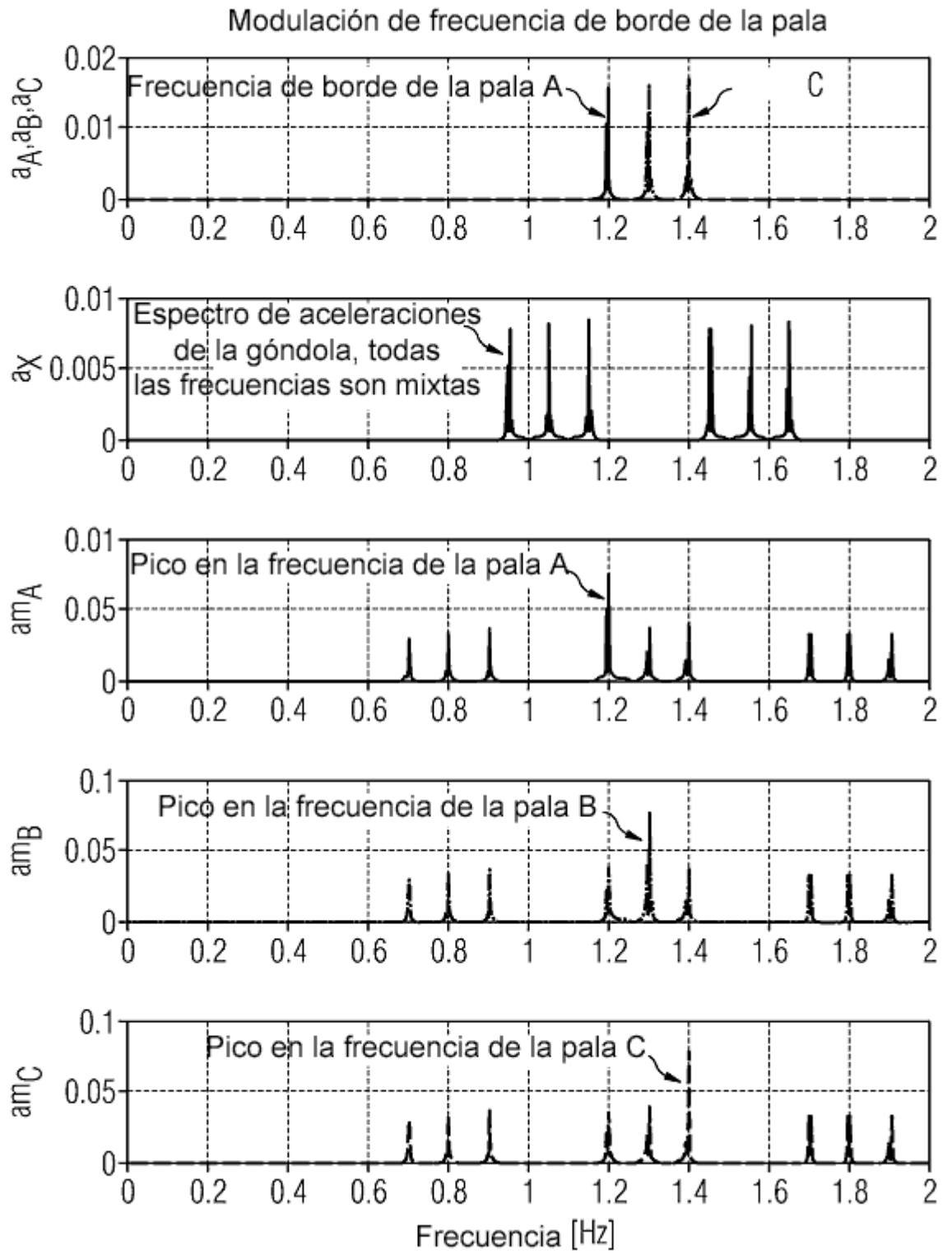


FIG 5

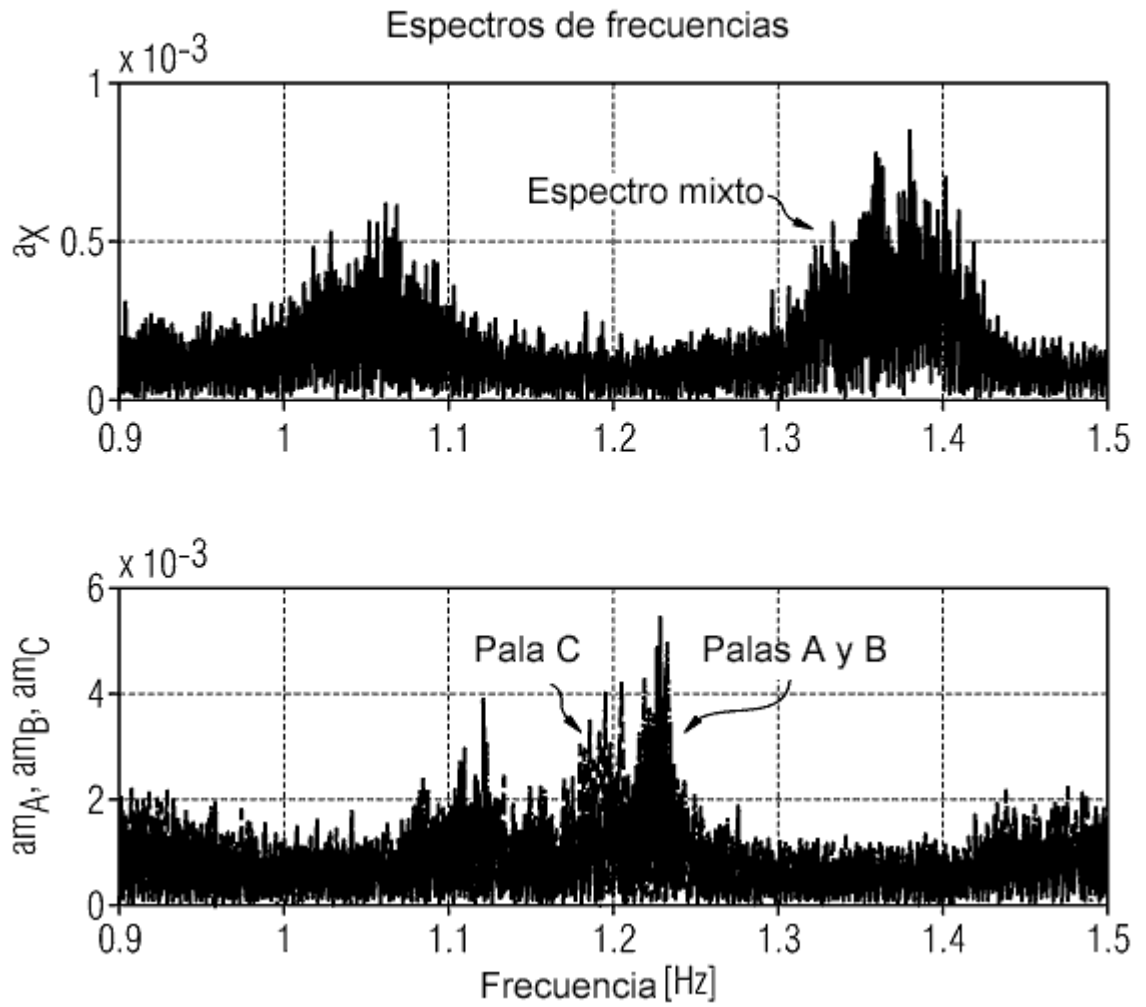


FIG 6

Se dispara la alarma cuando se tienen grandes desviaciones de frecuencia

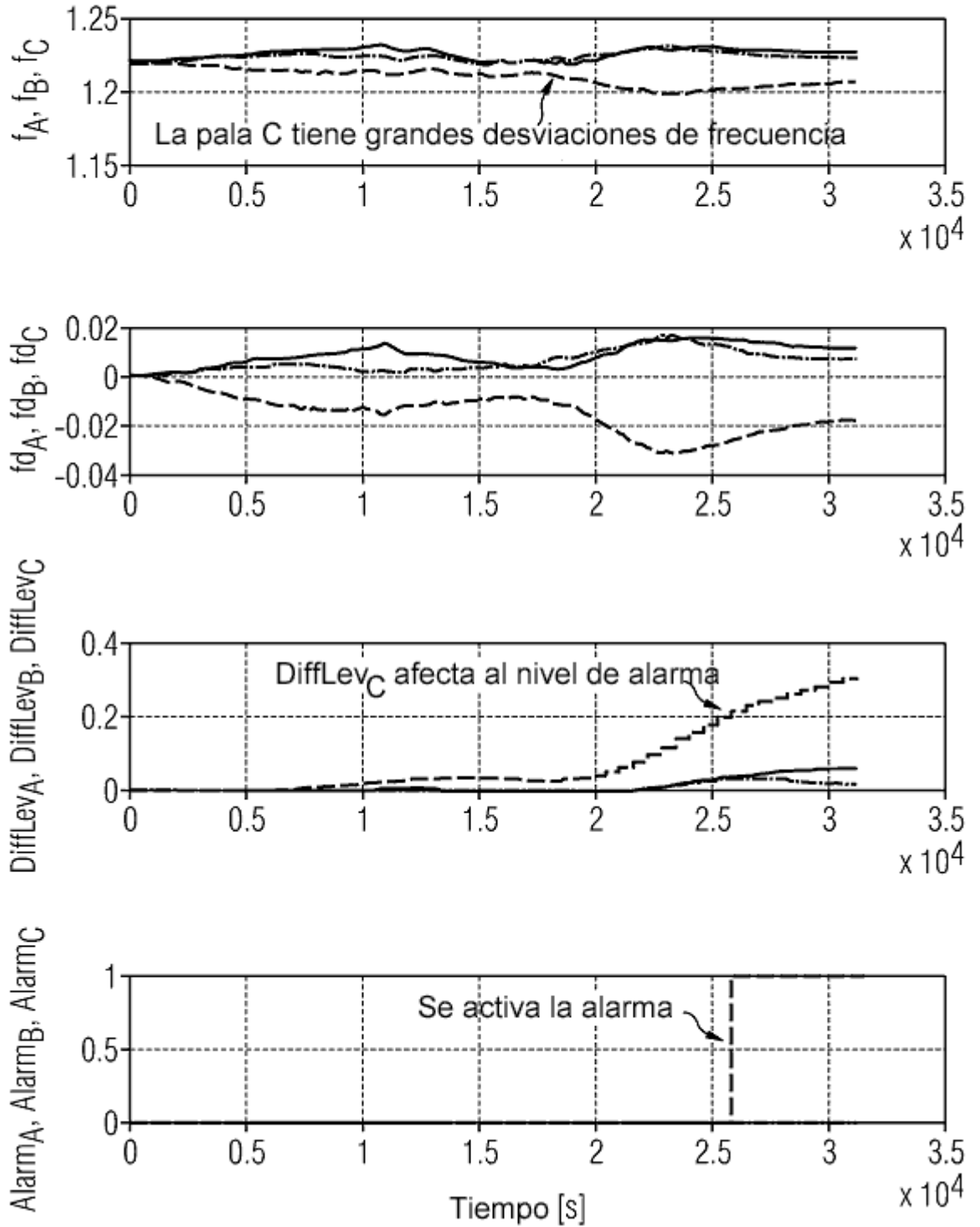
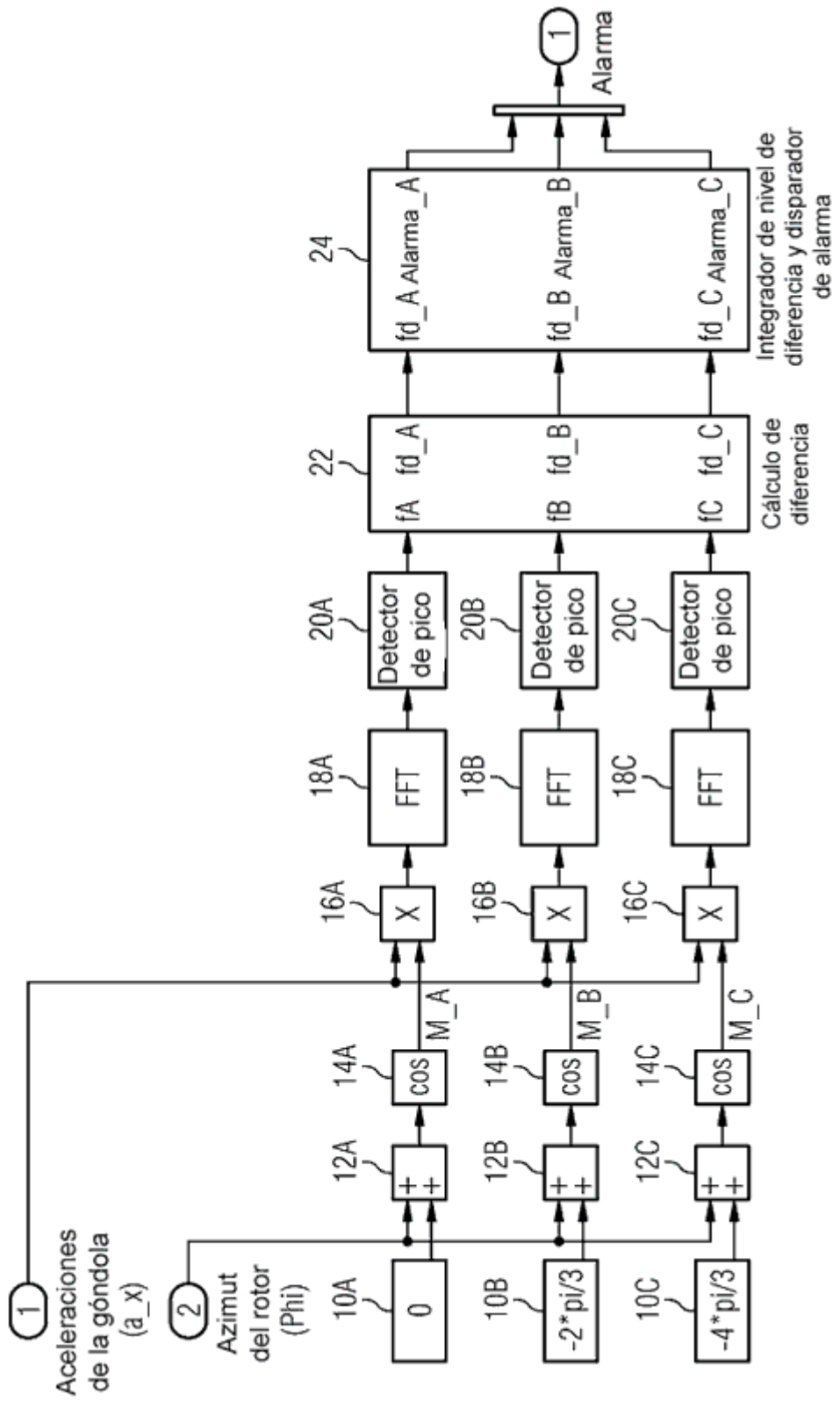


FIG 7



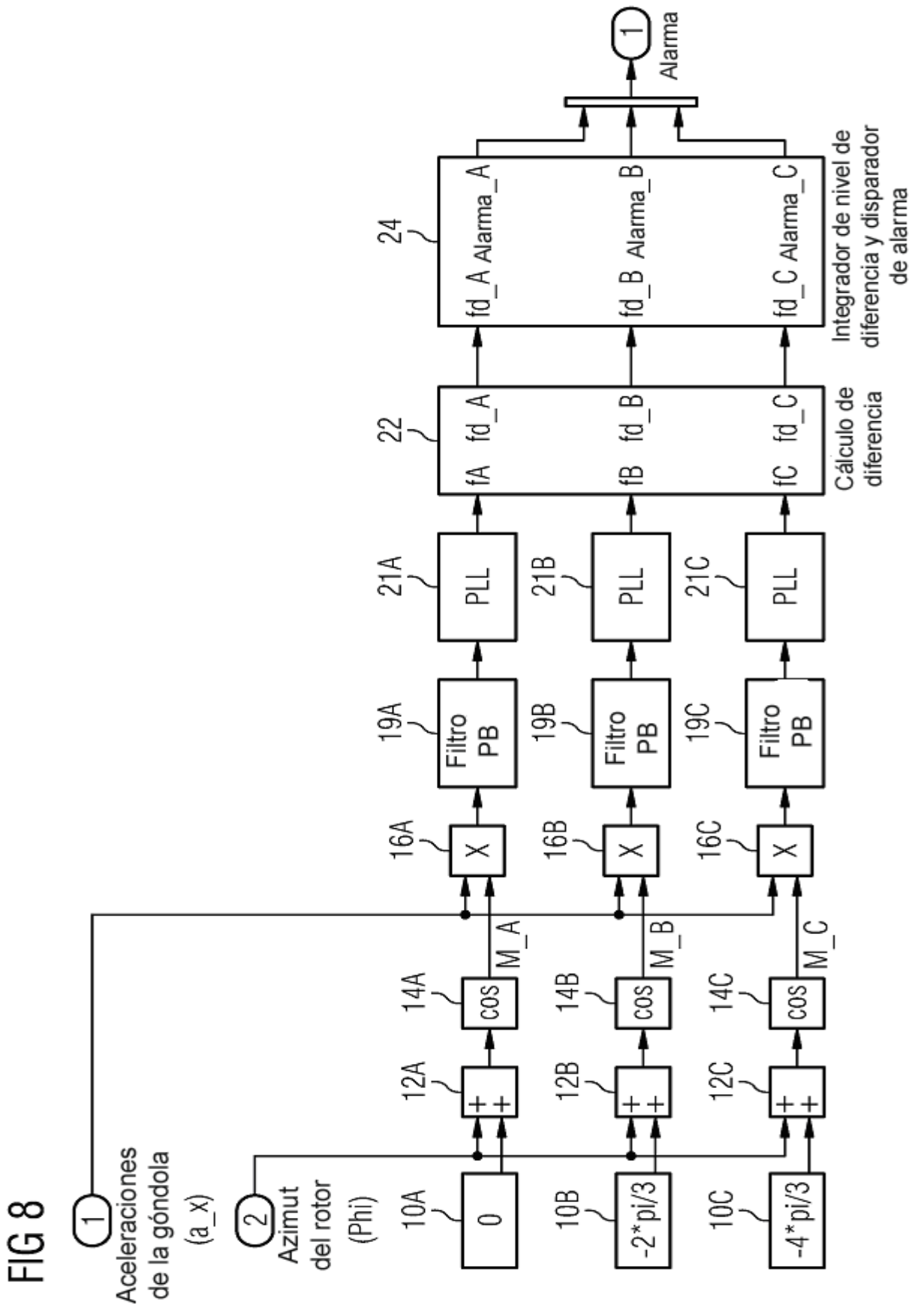


FIG 9

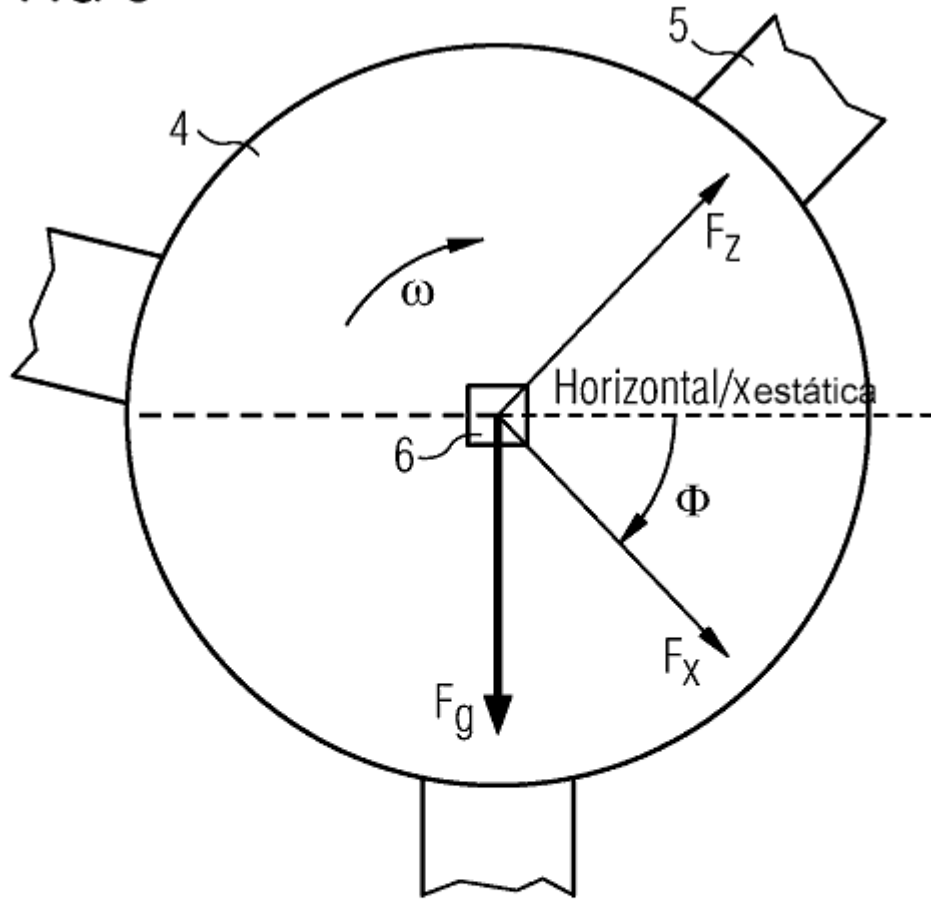


FIG 10

