

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 593 317**

51 Int. Cl.:

F03B 11/00 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2008** **E 08002516 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.06.2016** **EP 1959127**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la determinación indirecta de los parámetros dinámicos de una instalación eólica o hidráulica**

30 Prioridad:

14.02.2007 DE 102007007872

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

07.12.2016

73 Titular/es:

MOOG UNNA GMBH (100.0%)
Max-Born-Strasse 1
59423 Unna , DE

72 Inventor/es:

BUENTE, ANDREAS DR. y
WERTZ, HARALD

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 593 317 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 la determinación indirecta de los parámetros dinámicos de una instalación eólica o hidráulica

5 La presente invención se refiere a un dispositivo para la determinación indirecta de los parámetros dinámicos de una instalación eólica o hidráulica según la reivindicación 1, que comprende un árbol de rotor, al menos dos sensores de medida, directa o indirectamente anexos al árbol de rotor y que rotan con este, y una unidad de cálculo.

10 La invención se refiere además a un procedimiento para la determinación indirecta de parámetros dinámicos de una instalación eólica o hidráulica con árbol de rotor según la reivindicación 16.

15 Para el funcionamiento de instalaciones eólicas, la velocidad del rotor es una magnitud de extraordinaria importancia. La velocidad de rotación correcta es igual de relevante para el ajuste del punto de trabajo de máxima eficacia o rendimiento óptimo que el control de la velocidad de rotación máxima a partir de la cual se pueden producir daños mecánicos en el rotor.

20 En las instalaciones eólicas o hidráulicas del estado de la técnica, para determinar la velocidad de rotación se emplean codificadores rotatorios relativos, que miden la velocidad de rotación de forma directa o bien están acoplados al árbol del rotor mediante un engranaje. A menudo, la velocidad de rotación se mide de forma redundante; es decir, se emplean al menos dos codificadores rotatorios relativos que se vigilan mutuamente, de manera que el servicio puede continuar en caso de que falle uno de los codificadores. En muchos casos, dichos codificadores redundantes no son equivalentes. Por ejemplo, con frecuencia se emplea un codificador de alto valor con una resolución comparativamente alta, el cual puede emplearse también para la operación del generador. Como codificador redundante resulta indicado entonces un conteo de impulsos sencillo de los dientes de mecanismos de transmisión o tornillos con iniciadores. Sin embargo, el contador de impulsos no proporciona información referente al ángulo de rotación del eje de rotor, y en muchos casos es demasiado impreciso para determinar de manera exacta la aceleración angular.

30 A partir de los parámetros dinámicos de velocidad de rotación, aceleración del rotor y ángulo del rotor se pueden deducir parámetros específicos de la instalación eólica o hidráulica, los cuales permiten obtener información correspondiente a la carga mecánica, la energía eléctrica extraíble, el ángulo óptimo de orientación del rotor o de las palas del rotor y otros parámetros. En el campo del seguimiento del rotor en instalaciones eólicas se han planteado propuestas (por ejemplo, en las descripciones de los documentos DE 197 39 162 A1 y DE 197 39 164 A1) para variar el ángulo de calado de las palas del rotor con el fin de facilitar la acción del dispositivo de regulación para el seguimiento de la góndola del rotor en función del ángulo del rotor, de modo que se puede efectuar con ello un giro de la góndola con una carga mecánica baja y/o se pueden reducir los momentos de guiñada y de cabeceo sobre el bastidor. No obstante, para estos nuevos procedimientos de regulación es necesario determinar con precisión el ángulo de rotación del rotor. En este contexto, el contador de impulsos al que se ha hecho referencia anteriormente en la presente memoria tiene la gran desventaja de que, debido al bajo número de impulsos, la velocidad de rotación solo puede determinarse con tiempos muertos relativamente altos. Solo es posible obtener información adicional sobre la velocidad de rotación con la llegada de un nuevo flanco de la rueda dentada. Además, resulta difícil determinar el ángulo de rotación del rotor y, en particular, el exceso de velocidad de rotación se detecta con retraso, ya que no es posible captar una aceleración angular con rapidez.

45 Otra desventaja de los codificadores rotatorios del estado de la técnica es que generalmente están alojados en la parte estacionaria de la góndola de la instalación eólica o hidráulica. Para gestionar el funcionamiento y para controlar el generador también son necesarios los parámetros medidos en la parte en rotación de la góndola, por ejemplo, para el sistema de regulación del calado de las palas. En caso de exceso de velocidad de rotación, el dispositivo de cálculo para la gestión del funcionamiento lleva a cabo una marcha de seguridad, en la que se debe dar una orden correspondiente al sistema de control del ángulo de calado de las palas a través de los anillos colectores situados entre la góndola y el árbol. Con ello aumentan las posibilidades de error y se producen pérdidas innecesarias de tiempo debido al complejo enrutamiento de señales, lo cual pone en riesgo la instalación eólica o hidráulica.

55 Asimismo, se conoce la utilización de un sensor de aceleración que está integrado en el buje o en el árbol del rotor. Sin embargo, este tiene el inconveniente de que en las fuerzas de aceleración medidas por dicho tipo de sensor, la fuerza centrífuga y la fuerza de la gravedad se solapan, por lo que se deben adoptar las correspondientes medidas de filtración, complejas y costosas, para separar las componentes vectoriales individuales de la aceleración medida. En este caso se producen de nuevo retrasos en el registro de los parámetros dinámicos de velocidad de rotación, aceleración angular y ángulo de rotación, retrasos que pueden afectar negativamente a las operaciones de control.

60 Se conocen además procedimientos para el registro de parámetros dinámicos que, a partir de las señales de aceleración de un codificador que funciona según el principio de Ferraris y de un codificador rotatorio relativo sencillo adicional, obtienen una señal correspondiente a la velocidad de rotación que presenta poco ruido y un tiempo muerto bajo. Debido a la alta calidad que se puede alcanzar, dichos procedimientos se emplean por ejemplo en máquinas herramienta. Los sensores de aceleración de tipo Ferraris se basan en la inducción de corrientes parásitas y miden únicamente la aceleración relativa entre el material de la corriente parásita y la unidad de detección. Sus

dimensiones relativamente grandes y la costosa electrónica de evaluación suponen en muchos casos una desventaja. Por ello, dichos procedimientos no se pueden transferir sin más a instalaciones eólicas o hidráulicas, puesto que los sensores Ferraris solo pueden integrarse en el árbol del rotor con un gran esfuerzo, y en el árbol solamente se dispone de una señal necesaria del codificador de rotación con una frecuencia de muestreo baja, ya que esta se debe transmitir de la góndola al árbol a través del sistema de control del funcionamiento.

Partiendo de este estado de la técnica, es objeto de la presente invención proponer un dispositivo y un procedimiento para la determinación indirecta de parámetros dinámicos de una instalación eólica, cuyo objetivo es, con un esfuerzo constructivo relativamente bajo, gran libertad de mantenimiento, gran precisión de medida (incluso con bajas velocidades de rotación), precio bajo, gran robustez y bajo coste, medir parámetros dinámicos como, por ejemplo, el ángulo de rotación, la velocidad de rotación y la aceleración angular de una instalación eólica o hidráulica, y superar los mencionados inconvenientes del estado de la técnica.

Dicho objeto se logra mediante un dispositivo según la reivindicación 1 y un procedimiento según la reivindicación 16.

Las reivindicaciones dependientes tienen por objeto realizaciones ventajosas de la invención.

El dispositivo para la determinación indirecta de parámetros dinámicos está previsto para una instalación eólica o hidráulica provista de un árbol de rotor, al menos dos sensores de medida que están dispuestos directa o indirectamente en el árbol de rotor y que rotan con el árbol de rotor, y una unidad de cálculo. El dispositivo según la invención se caracteriza por el hecho de que los sensores de medida están dispuestos simétricamente en torno al árbol de rotor y captan respectivamente al menos dos componentes de una magnitud vectorial original fuerza y/o aceleración en un sistema de coordenadas de medida que gira con el árbol del rotor, y por el hecho de que los sensores de medida para el intercambio de datos están conectados con la unidad de cálculo, en donde la unidad de cálculo calcula al menos uno de los siguientes parámetros dinámicos: aceleración angular, velocidad de rotación y ángulo de rotación del árbol de rotor a partir de las magnitudes vectoriales originales medidas. Por lo tanto, el dispositivo según la invención comprende al menos dos sensores de medida directa o indirectamente anexos al árbol de rotor. Los sensores de medida pueden estar por lo tanto conectados de forma directa, es decir, alojados directamente en el árbol del rotor o anexos a este, o de forma indirecta, es decir, mediante un componente que gira con el árbol del rotor como, por ejemplo, el ala del rotor, en conexión con el árbol del rotor, de modo que giran con este. La simetría se refiere a una simetría del punto de gravedad geométrico, de modo que el punto de gravedad de la disposición de sensores coincide con el eje del árbol del rotor. Esto significa que el centro de gravedad geométrico de los sensores de medida coincide con el eje del árbol del rotor, que los sensores de medida tienen la misma separación radial con respecto al eje del rotor, y que cada sensor de medida presenta idénticas separaciones angulares desde el eje del rotor hasta los respectivos sensores de medida adyacentes.

La simetría anteriormente caracterizada de los sensores de medida desempeña un papel esencial, tal como se describe a continuación. Las fuerzas y/o aceleraciones medidas por los sensores constan de diversas componentes: la fuerza correspondiente al peso (fuerza de gravedad), la fuerza centrífuga y la fuerza de aceleración del rotor. Para evaluar las fuerzas dinámicas, debe ser posible separar estas tres componentes de la fuerza. Esto se facilita con una disposición simétrica, puesto que solo en una disposición simétrica coinciden las fuerzas centrífugas vectoriales y las fuerzas de aceleración del rotor de tal modo que se anulan entre sí cuando se suman adecuadamente. Dicha disposición posibilita, por lo tanto, la extracción de la fuerza de gravedad de las otras dos componentes de fuerza, de modo que, debido a la mencionada geometría y al conocimiento de la posición relativa de cada uno de los sensores de medida, es posible deducir los parámetros dinámicos deseados a partir de las fuerzas resultantes mediante un procedimiento adecuado. Es posible, además, tener en cuenta y calcular determinadas disimetrías, como las que aparecen como tolerancias de construcción en la disposición de los sensores, en forma de errores de medida sistemáticos en la determinación de los parámetros dinámicos.

Dado que el dispositivo de la presente invención solo mide parámetros indirectos como aceleración o fuerzas, este no está sometido a ningún desgaste mecánico significativo (como es el caso, por ejemplo, de codificadores rotatorios relativos mecánicos), requiere poco mantenimiento y puede llevar a cabo la medición de las fuerzas dinámicas con una gran precisión. Por otro lado, los sensores de medida correspondientes se pueden adquirir a precios muy bajos, son conocidos desde hace mucho, por ejemplo, en el sector del automóvil, y se pueden alojar en las posiciones deseadas del árbol del rotor, en el buje del rotor, en el sistema de accionamiento de las palas del rotor, o incluso en las palas del rotor. Los sensores de medida se disponen para ello en la parte en rotación de la instalación energética. La unidad de cálculo que recibe las señales de los sensores de medida puede estar dispuesta en la parte en rotación o en la parte estacionaria de la instalación energética. Dicha unidad analiza las señales de cada uno de los sensores de medida y, utilizando la simetría de la fuerza de aceleración y de la fuerza centrífuga, determina los parámetros dinámicos. La unidad de cálculo puede transmitir informaciones específicas a unidades de control superiores que, haciendo uso de los parámetros dinámicos, pueden llevar a cabo un control, por ejemplo, del ángulo de calado de las palas del rotor, del sentido de rotación del eje del rotor, de la carga mecánica del rotor, de la orientación de la góndola y de otros parámetros. Debe mencionarse en este punto que el concepto de control comprende también una regulación de la instalación energética.

En una forma de realización preferida, se prevén sensores de medida como sensores de aceleración. Los sensores de aceleración se pueden adquirir a precios muy económicos también en forma de sensores semiconductores. Es importante que los sensores de aceleración puedan medir y evaluar fuerzas de aceleración en al menos dos

dimensiones, debiendo ser las dimensiones ortogonales al eje de rotación del árbol del rotor. De forma alternativa a la utilización de un sensor de medida multidimensional, se pueden disponer también varios sensores medidores unidimensionales en una serie de sensores, de modo que, por ejemplo, un sensor de medida mide principalmente la fuerza centrífuga y otro sensor de medida mide principalmente la fuerza de aceleración rotacional. Resulta especialmente sencilla en este caso una disposición en la que las componentes de aceleración individuales están dispuestas en posiciones ortogonales entre sí para facilitar una sencilla separación de las componentes vectoriales.

En una forma de realización alternativa, los sensores de medida están dispuestos como sensores de fuerza. Los sensores de fuerza se diferencian de los sensores de aceleración en que están conectados a una masa, de modo que se puede realizar una sencilla conversión entre valores de aceleración y valores de fuerza teniendo en cuenta la masa acelerada. Por lo demás, para la realización de dichos sensores tiene validez lo arriba indicado.

En principio, la disposición preferida de los sensores de medida es en la parte en rotación de la instalación energética. En una forma de realización especialmente óptima, los sensores de medida están integrados en el árbol de rotor o anexos a este. De ese modo, los sensores de medida pueden estar dispuestos, por ejemplo, dentro de la góndola en el árbol en rotación, o anexos al buje. Esto permite acceder fácilmente a los sensores de medida, que pueden sustituirse fácilmente, por ejemplo, cuando se producen fallos técnicos.

En otra posible realización, los sensores de medida están integrados en un sistema de regulación del calado de una pala de rotor, especialmente en un sistema de accionamiento del sistema de regulación del calado. Cada pala de rotor posee su propio sistema de regulación del calado, que determina la posición angular de la pala de rotor con respecto al eje longitudinal de la pala. Puesto que la posición angular de la pala es un parámetro decisivo que se debe controlar en función de los parámetros dinámicos, resulta evidente integrar los sensores de medida en el sistema de accionamiento del regulador de calado. De este modo se obtiene un número de sensores de medida especialmente ventajoso. El número de sensores de medida se corresponde ventajosamente con el número de palas de rotor, especialmente porque las palas de rotor están dispuestas de forma simétrica alrededor del eje del rotor.

Es asimismo perfectamente concebible que los sensores de medida estén integrados en las palas de rotor individuales. Esto tiene especialmente la ventaja de que se pueden alojar en una separación radial con respecto al eje del rotor que se puede determinar previamente. Dado que las dimensiones de las aceleraciones y fuerzas de aceleración que se generan están directamente relacionadas con la separación radial del sensor de medida con respecto al eje del rotor, se pueden alcanzar precisiones de medida muy elevadas disponiendo los sensores de medida en la pala de rotor, especialmente cuando los sensores de medida se disponen en las puntas de las palas de rotor.

Si los sensores de medida se disponen dentro de las palas de rotor individuales, es perfectamente concebible integrar varios sensores de medida en una única pala de rotor a diferentes distancias respecto al eje del rotor. De ese modo se obtienen varios grupos de sensores de medida dispuestos simétricamente e integrados respectivamente en las palas de rotor con diferentes separaciones radiales respecto al eje del rotor. Esto se puede aprovechar especialmente para utilizar los sensores de medida más alejados del eje del rotor para determinar los parámetros dinámicos cuando las velocidades de rotación son bajas y para utilizar los sensores de medida situados más cerca del eje del rotor para velocidades de rotación más altas, con el fin de lograr una calidad uniformemente alta de los parámetros dinámicos calculados. Además, los diferentes valores medidos se pueden combinar entre sí de modo que se obtiene en conjunto una mayor precisión en la determinación de los parámetros dinámicos, por ejemplo, para compensar errores de medida sistemáticos, o con el fin de lograr una mayor exactitud de resolución de los parámetros dinámicos mediante un análisis de errores.

Los sensores de aceleración están disponibles como chips integrados, compactos y económicos, pudiéndose utilizar, por ejemplo, componentes que ya se emplean en grandes cantidades en el sector del automóvil. Dichos sensores están disponibles en modalidades que pueden detectar las aceleraciones de traslación en tres ejes ortogonales de forma simultánea, pero también se pueden emplear sensores según la invención que miden menos planos, empleándose en caso necesario un mayor número de sensores. Con al menos dos sensores capaces de medir respectivamente en dos direcciones, se pueden separar de forma altamente dinámica las fuerzas centrífugas y las fuerzas de aceleración angular con respecto a la fuerza de gravedad.

De forma típica, la transmisión de las señales de los sensores de medida a la unidad de cálculo se lleva a cabo por cable, es decir, se disponen conexiones eléctricas que transmiten los parámetros medidos a la unidad de cálculo. En este caso, puede surgir la dificultad de que, si la unidad está dispuesta en la zona estacionaria de la instalación energética, las señales de los sensores de medida en rotación deben ser transmitidas a través de anillos colectores o de otros puntos de transmisión de señal que comunican eléctricamente los componentes rotatorios de la instalación con componentes estacionarios de esta. Para ello, puede ser ventajoso que los sensores de medida transmitan los datos de medición a la unidad de cálculo de forma inalámbrica. Para la transmisión inalámbrica, lo más sencillo es realizar una conexión por ondas electromagnéticas. Sin embargo, también se pueden concebir otras técnicas de transmisión como, por ejemplo, técnicas de transmisión por infrarrojos, por ultrasonidos, o similares.

De este modo se garantiza una alta producción de datos y una baja tasa de errores de la transmisión de señal.

Para solucionar los problemas anteriormente mencionados en la transmisión de señales de la zona en rotación de la instalación energética a la zona estacionaria, puede ser posible de forma ventajosa disponer la unidad de cálculo en la zona en rotación de la instalación eólica o hidráulica, especialmente en el buje del rotor o anexa a este. Es ventajoso asimismo disponer la unidad de cálculo igualmente en la zona en rotación de la instalación energética en el caso de instalaciones en las que el dispositivo según la invención influye en la regulación del calado de las palas. De ese modo, las señales de medida se pueden transmitir directamente desde los sensores de medida en rotación a la unidad de cálculo también en rotación sin que resulte necesario transmitir las señales de la zona en rotación a la zona estacionaria de la instalación energética.

Si la unidad de cálculo se aloja en la zona en rotación de la instalación, esta se puede disponer en cualquier posición de dicha zona. Es posible de forma ventajosa integrar la unidad de cálculo en un sistema de regulación del ángulo de calado de una pala de rotor, especialmente en un sistema de accionamiento de un sistema de regulación del ángulo de calado. Es además concebible disponer no una única unidad de cálculo, sino tantas unidades de cálculo como palas de rotor tenga la instalación, las cuales determinan los parámetros dinámicos de forma redundante. De ese modo es concebible un montaje totalmente simétrico de todos los sistemas de regulación del ángulo de calado de las palas, de manera que cada sensor de cada ala del rotor transmite su información de forma simétrica a todos los sistemas de regulación del ángulo de calado de las palas de la instalación eléctrica. Gracias a la alta simetría del dispositivo se pueden ahorrar, por una parte, costes de montaje y de producción y, por otra, se puede reducir adicionalmente la probabilidad de fallos debido a la alta redundancia de las unidades de cálculo.

Después del cálculo de los parámetros dinámicos, estos se pueden utilizar de forma ventajosa para controlar la instalación de aprovechamiento de energía. Para ello es posible, de forma ventajosa, conectar la unidad de cálculo con al menos una unidad de control superior de la instalación eólica o hidráulica para el intercambio de datos. La unidad de control superior puede servir para controlar parámetros relevantes para el funcionamiento de la instalación de aprovechamiento de energía. Para la transmisión de datos se pueden utilizar a su vez conexiones de datos por cable, así como conexiones inalámbricas de datos en forma de conexiones por radio, conexiones por infrarrojos o similares.

Si los parámetros dinámicos calculados por la unidad de cálculo se transmiten a una unidad de control superior, es posible de forma ventajosa que la unidad de control superior controle parámetros de posición tales como el ángulo de calado de las palas del rotor, la elevación de la góndola o el acimut de la góndola en función de los datos de la unidad de cálculo. Especialmente en el caso de los aerogeneradores, los parámetros mencionados son los parámetros que determinan su funcionamiento, puesto que proporcionan la orientación óptima del rotor respecto al viento. Dichos tres parámetros determinan los grados de libertad fundamentales del rotor y hacen posible un óptimo aprovechamiento de la energía eólica. A partir de los parámetros dinámicos calculados por la instalación según la invención se logra por lo tanto un óptimo aprovechamiento de la energía.

De forma alternativa a y en combinación con la variante arriba mencionada de una conexión de la unidad de cálculo con una unidad de control superior, la unidad de cálculo también se puede conectar con al menos un sistema de control del ángulo de calado de las palas del rotor para el intercambio de datos. Un parámetro fundamental de funcionamiento para determinar el comportamiento dinámico de un aerogenerador es el calado de la pala del rotor. Si se calculan los parámetros dinámicos con ayuda de la instalación según la invención, a partir de dichos parámetros calculados se puede modificar directamente el ajuste correspondiente al calado de cada pala del rotor. Para ello es posible, de forma ventajosa, que la unidad de cálculo esté conectada con al menos un sistema de regulación del calado de las palas, especialmente con todos.

La conexión de la unidad de cálculo con el sistema de regulación del calado de las palas para el intercambio de datos se puede realizar a su vez tanto con cables como de forma inalámbrica. En particular, una conexión de datos inalámbrica entre la unidad de cálculo y la unidad de control superior y/o el sistema de regulación del calado de las palas tiene la ventaja de que se suprime la conexión eléctrica entre la parte en rotación y la parte estacionaria de la instalación energética mediante, por ejemplo, anillos colectores. De este modo se obtiene una mayor frecuencia de señal, mayor fiabilidad y menor coste de mantenimiento que con conexiones mecánicas de datos mediante cables que se llevan a cabo principalmente a través de anillos colectores.

La instalación según la invención utiliza fundamentalmente sensores de fuerza y/o de aceleración para la medición indirecta de los parámetros dinámicos. Sin embargo, es perfectamente concebible disponer al menos otro sensor de medida dentro de la instalación, el cual está conectado con la unidad de cálculo y mide los parámetros dinámicos de modo directo o indirecto. Este sensor de medida adicional puede ser uno de los sensores de medida mencionados en la descripción del estado de la técnica, especialmente un codificador rotatorio relativo o un contador de impulsos optoelectrónico. Este sensor de medida adicional sirve, por una parte, para la medición de referencia (por ejemplo, para la eliminación de errores de medida sistemáticos y para aumentar la exactitud de medición) y, por otra parte, para aumentar la seguridad del funcionamiento gracias a la redundancia.

La invención se refiere además a un procedimiento para la determinación indirecta de parámetros dinámicos de una instalación eólica o hidráulica con árbol de rotor. En el procedimiento según la invención se llevan a cabo las siguientes etapas:

- Medición de al menos dos componentes de una magnitud vectorial original de fuerza y/o aceleración en un sistema de coordenadas de medida local que gira con el eje del rotor mediante dos sensores de medida respectivos dispuestos de forma simétrica alrededor del eje del rotor y que giran con él;
- transmisión de los datos de medición a la unidad de cálculo;
- 5 - cálculo de al menos uno de los siguientes parámetros dinámicos: aceleración angular, velocidad de rotación y ángulo de rotación del eje del rotor a partir de las magnitudes vectoriales originales por parte de la unidad de cálculo.

En otras palabras, en cada uno de los sensores de medida dispuestos simétricamente se fija un sistema de coordenadas de medida local con al menos dos dimensiones en un plano ortogonal respecto al eje del rotor, en el cual se miden las magnitudes vectoriales de fuerza y/o aceleración. Dichos sistemas de coordenadas de medida locales giran sin cambiar su posición con respecto a la disposición del sensor de medida y giran con respecto al rotor, de modo que sus vectores de base varían en posición y tiempo con el ángulo de rotación del rotor con respecto a un sistema de coordenadas estacionario. Los datos de medición del sistema de coordenadas de medida captados se transmiten a una unidad de cálculo. Dentro de la unidad de cálculo se calculan los parámetros dinámicos a partir de las magnitudes vectoriales originales teniendo en cuenta la disposición relativa de los sensores de medida individuales entre sí. Se debe recalcar nuevamente que una alta exactitud de la simetría en la disposición de los sensores de medida es decisiva para la exactitud de los parámetros dinámicos a calcular. Solamente mediante una simetría suficientemente alta de la disposición espacial es posible superponer la fuerza centrífuga y la fuerza de aceleración angular a partir de las magnitudes vectoriales originales de modo que se compensen mutuamente con una disposición simétrica de los sensores para poder calcular las fuerzas de peso. Puesto que la dirección del peso es sin embargo conocida desde el principio, mediante dichos componentes fijos se puede determinar la fuerza centrífuga y la de aceleración y, a partir de estas, extraer los parámetros dinámicos mediante múltiples posibilidades. Sin embargo, es perfectamente concebible tener en cuenta ciertas disimetrías de la disposición de los sensores de medida (debidas, por ejemplo, a tolerancias de fabricación) como errores sistemáticos en un procedimiento de corrección.

En una posible variante del procedimiento según la invención arriba propuesto, para la medición de los parámetros dinámicos se pueden usar al menos dos grupos de sensores de medida dispuestos simétricamente con diferentes separaciones radiales. Para ello se pueden tener en cuenta las magnitudes vectoriales de cada grupo en el cálculo de los parámetros dinámicos. Así por ejemplo, es posible proporcionar varios grupos de sensores de medida con diferentes separaciones radiales respecto al eje del rotor para reducir el ruido de los parámetros calculados y mejorar la precisión total.

La transmisión de los datos de medición a la unidad de cálculo puede tener lugar en principio del modo deseado, y normalmente se realizará mediante conexiones por cable. De forma especialmente ventajosa, en el procedimiento se prevé que la transmisión de los datos de medición a la unidad de cálculo tenga lugar de forma inalámbrica, para garantizar una transmisión rápida, sin problemas, sin necesidad de mantenimiento y segura de los datos, especialmente en la transición de la zona en rotación a la zona estacionaria de la instalación energética.

Además, puede ser ventajoso tener en cuenta en el procedimiento según la invención el parámetro de medida de al menos otro sensor de medida que determina el parámetro de medida de forma directa o indirecta. Por ejemplo, un sensor de velocidad de rotación directo conectado mecánicamente al eje del rotor a través de un engranaje puede calcular la velocidad de rotación, por ejemplo, mediante un tacogenerador, un codificador rotatorio relativo, un sensor de efecto Hall o similares. El procedimiento puede utilizar esta información de medida adicional para mejorar la exactitud de los parámetros calculados de forma indirecta, para eliminar fuentes de errores debidos al sistema o para aprovechar una alta redundancia con el fin de aumentar la seguridad del funcionamiento.

En principio, el procedimiento mediante el cual la unidad de cálculo calcula los parámetros dinámicos a partir de los parámetros calculados fuerza y/o aceleración de los sensores de medida individuales puede ser un procedimiento cualquiera. Parece especialmente ventajoso sin embargo el siguiente procedimiento:

Se fija a cada sensor un sistema de coordenadas de medida local (r, φ) que gira con el eje del rotor. Dentro de dicho sistema de coordenadas de medida local, las magnitudes vectoriales originales se captan mediante dos componentes de base F_r, F_φ en el sistema de coordenadas de medida local

(r, φ) . Se fija, además, un sistema de coordenadas de referencia (X', Y') que gira con el eje del rotor, y el cálculo de los parámetros dinámicos a partir de las magnitudes vectoriales originales comprende las siguientes etapas:

- Representación de la magnitud vectorial F original de cada sensor de medida mediante al menos dos componentes base medidas F_r, F_φ de la magnitud vectorial F en el sistema de coordenadas de medida local (r, φ) en movimiento del sensor de medida;
- transformación de las componentes base medidas F_r, F_φ de los sistemas de coordenadas de medida al sistema de coordenadas de referencia (X', Y') ;
- suma vectorial de las componentes base transformadas medidas $F_{rx'}, F_{\varphi y'}$ en el sistema de coordenadas de referencia (X', Y') para calcular los vectores suma $F_{rx}, F_{\varphi y}$, que determinan el vector correspondiente al peso F_g ;
- 65 - cálculo del vector resultante F_{res} mediante sustracción del vector peso F_g a la magnitud vectorial F original medida de cada sensor de medida $F_{res} = F - F_g$;

- representación del vector resultante F_{res} mediante las componentes base F_r , F_φ del sistema de coordenadas de medida (r, φ) de cada sensor de medida;
- extracción de las componentes radial F_{rres} y tangencial $F_{\varphi res}$ de la magnitud vectorial original F .

5 En otras palabras, mediante el procedimiento de medida realizado predominantemente con *software* que tiene lugar en la unidad de cálculo se llevan a cabo las siguientes etapas: Las componentes vectoriales originales de cada sensor de medida se registran en un sistema de coordenadas de medida que gira con el rotor, y que, de forma estacionaria respecto al sensor de medida, registra sus fuerzas medidas. Dado que la posición relativa de los sensores de medida entre sí se conoce a partir del montaje, se introduce un sistema de coordenadas de referencia (X', Y') especialmente en uno de los sensores de medida, sistema que gira asimismo con este sensor de medida, y los vectores de fuerza medidos del resto de sensores de medida se pasan al sistema de coordenadas de referencia (X', Y') mediante transformación de bases. En este punto, todos los vectores de fuerza medidos se hallan en el sistema de coordenadas de referencia (X', Y') , y se pueden representar con ayuda de vectores de unidad de dicho sistema de coordenadas de referencia. Debido a la simetría de los sensores de medida instalados, las componentes de aceleración y de fuerza centrífuga de las fuerzas individuales de sensores de medida individuales se cancelan entre sí. De este modo, una suma de las fuerzas medidas individuales de los sensores de medida dentro del sistema de coordenadas de referencia proporciona un vector fuerza resultante que indica exactamente la dirección del peso, correspondiendo su módulo exactamente a n -veces los n sensores de medida. Por lo tanto, se puede calcular la posición y el módulo del peso para cada uno de los sensores de medida. Para cada uno de los sensores de medida se puede determinar así un vector resultante F_{res} , que se puede calcular sustrayendo la fuerza medida del sensor de medida F y la fuerza correspondiente al peso F_g recién medida: $F_{res} = F - F_g$. Este vector resultante F_{res} está compuesto por dos componentes: la fuerza centrífuga y la fuerza de aceleración angular. Si, por ejemplo, se escogen hábilmente los sistemas de coordenadas de medida de modo que un vector de base del sistema de coordenadas de medida señale en dirección radial r , es decir, en el sentido de la fuerza centrífuga, y un vector de base en dirección tangencial, es decir, en el sentido del vector de la aceleración angular φ , es posible representar el vector fuerza resultante F_{res} mediante ambos vectores de base del sistema de coordenadas de medida F_r y F_φ . De este modo se obtienen para cada sensor de medida dos componentes vectoriales, F_{rres} y $F_{\varphi res}$, que indican la fuerza centrífuga y la aceleración angular del sensor de medida. En el caso ideal, F_{rres} y $F_{\varphi res}$ de cada sensor de medida tienen el mismo módulo.

Si se calculan las componentes de fuerza individuales correspondientes a la fuerza centrífuga y a la de aceleración, para el cálculo final de los parámetros dinámicos se pueden seguir los siguientes pasos:

- Cálculo del ángulo de rotación φ con respecto al sistema de coordenadas de referencia (X', Y') mediante la siguiente relación: $\varphi = \arg(F_y, F_x)$;
- cálculo de la velocidad de rotación y de la aceleración angular a partir de la ley $\omega = d\varphi/dt$, $\alpha = \omega/dt$.

Por ejemplo, es posible calcular el ángulo de rotación φ a partir de la relación $\varphi = \text{atan}(|F_y|, |F_x|)$ conforme a la representación vectorial mostrada en la Fig. 5.

El ángulo de rotación φ se obtiene de ese modo mediante la combinación de los vectores de fuerzas individuales de cada sensor de medida en el sistema de coordenadas de referencia (X', F) . Como ya se ha indicado anteriormente, la fuerza centrífuga y las fuerzas de aceleración se anulan entre sí debido a la simetría. Se obtienen así las fuerzas compuestas del conjunto de n sensores de medida que corresponden a n veces el peso F_g y cuyo sentido es hacia el centro de la tierra, es decir, una dirección previamente conocida. Las fuerzas individuales de los sensores de medida se pueden representar mediante vectores unitarios del sistema de coordenadas de referencia e_x, e_y , que se pueden sumar para obtener vectores globales F_x, F_y cuyos ángulos respectivos determinan precisamente el ángulo de rotación φ . A partir del ángulo de rotación φ se obtiene la velocidad de rotación ω mediante diferenciación en función del tiempo del ángulo de rotación φ , y la aceleración angular α mediante diferenciación en el tiempo de la velocidad de rotación ω . Se puede utilizar cualquier procedimiento para el cálculo de la velocidad de rotación y de la aceleración angular; puede llevarse a cabo, por ejemplo, mediante diferenciación numérica de valores discretos en el tiempo.

De forma alternativa y combinable con el procedimiento arriba indicado para el cálculo del ángulo de rotación, la velocidad de rotación y la aceleración angular, la velocidad de rotación ω también se puede determinar directamente a partir de las fuerzas centrífugas mediante la relación $\omega = \sqrt{|F_{rres}|/m} \cdot r$, donde r indica la distancia radial del sensor de medida con respecto al eje del rotor, y m la masa de referencia en que se basa el sensor de medida de fuerzas. Si se determina la velocidad de rotación a partir de la fórmula de la fuerza centrífuga, se pueden determinar por ejemplo el ángulo de rotación φ integrando la velocidad de rotación ω y la aceleración angular α diferenciando la velocidad de rotación ω . También en este caso, las operaciones matemáticas se pueden realizar del modo que se desee, aunque de forma ventajosa se pueden llevar a cabo con ayuda de procedimientos numéricos adecuados, por ejemplo, con valores discretos en el tiempo.

De forma igualmente alternativa o combinable con los procedimientos arriba mencionados para el cálculo de los parámetros dinámicos, la aceleración angular α se puede determinar con respecto al sistema de coordenadas de referencia (X', Y') mediante la relación $\alpha = |F_{\varphi res}|/m \cdot r$. A partir de la aceleración angular así calculada α se pueden calcular la velocidad de rotación ω y el ángulo de rotación φ mediante integración. También en este caso se puede utilizar cualquier procedimiento de integración deseado, siendo especialmente ventajoso sin embargo el uso de integración numérica de valores muestreados discretos en el tiempo.

65

En la parte anterior se han bosquejado tres posibilidades para calcular analíticamente los tres parámetros dinámicos φ , ω , α , en donde, en cada caso, se calcula de forma directa un parámetro dinámico, y los otros dos se pueden calcular mediante integración o diferenciación. De forma especialmente ventajosa, los tres procedimientos se pueden realizar de forma paralela e independiente entre sí y combinarse de forma adecuada para minimizar errores. De ese modo se puede evaluar la calidad de los parámetros dinámicos calculados mediante el cálculo del vector suma de las componentes tangencial - $F_{\varphi_{res}}$ y/o radial $F_{r_{res}}$. Debido a la simetría de las componentes tangencial y radial, que indican la fuerza centrífuga y la aceleración angular, idealmente estas deberían resultar cero. Un vector resultante que no es igual a cero es indicativo de un error, que puede deberse al propio sistema y se puede eliminar por lo tanto de forma sistemática.

En el marco del procedimiento según la invención, los parámetros dinámicos calculados por la unidad de cálculo se pueden transferir además, de forma ventajosa, a una unidad de control superior que, a partir de parámetros dinámicos, realiza el control de parámetros de posición tales como el calado de las palas del rotor, la elevación de la góndola y el acimut de la góndola. De este modo, los parámetros dinámicos resultan útiles en la instalación de aprovechamiento de energía como parámetros de entrada para la determinación directa de parámetros base fundamentales para la orientación del rotor en la corriente de viento o de agua.

De forma alternativa o combinada con la transmisión de los parámetros dinámicos a una unidad de control superior, los parámetros dinámicos individuales se pueden transmitir también de forma directa al sistema de regulación del calado de una pala de rotor para modificar el ajuste de calado de la pala del rotor del aerogenerador.

En la parte anterior se ha aludido a distintas pautas de integración y de diferenciación, cuyo cálculo se puede realizar según se desee. Sin embargo, las operaciones matemáticas necesarias para los cálculos, en especial la diferenciación y/o la integración, se pueden llevar a cabo de forma especialmente ventajosa mediante un procedimiento numérico iterativo. Para ello resulta ventajoso utilizar valores discretos en el tiempo y emplearlos, por ejemplo mediante procedimientos numéricos habituales como el cociente central de diferencias para la diferenciación o procedimientos de Runge-Kutta o similares en el caso de la integración numérica para realizar las operaciones matemáticas.

Si, por ejemplo, en la instalación según la invención se prevé otro sensor de medida para el cálculo directo o indirecto de parámetros dinámicos, el procedimiento puede utilizar en el marco de la determinación numérica iterativa de los parámetros de medida el parámetro de medida del sensor de medición directa para corregir los parámetros dinámicos calculados mediante la medición indirecta. De este modo se puede garantizar, por una parte, una mayor seguridad frente a fallos debido a la redundancia y, por otra, se puede mejorar la precisión de la determinación de los parámetros dinámicos mediante otros sensores de medida. Especialmente, los procedimientos de integración destacan por sus continuas desviaciones, que se pueden corregir de forma adecuada mediante el parámetro de medida del sensor de medida adicional.

Los sensores de medida, que miden fuerzas o aceleraciones, registran sobre todo los cambios de la fuerza y de la aceleración ocasionados por la rotación del árbol del rotor. Sin embargo, una instalación eólica o hidráulica está sometida a otras influencias dinámicas, denominadas en adelante estados dinámicos secundarios, tales como la presión del flujo, rachas de viento o inundaciones. Estos cambios de carga repentinos sobre el rotor de la instalación energética dan lugar a oscilaciones, flexiones u otros cambios dinámicos del conjunto de la instalación energética, que se reflejan igualmente en los datos de medición de los sensores de medida. En un posible ejemplo de realización, a partir de los datos de medición de los sensores de medida se calculan informaciones adicionales sobre el estado dinámico secundario de la instalación eólica o hidráulica, especialmente comportamientos de oscilaciones, flexiones y similares. Esto se puede conseguir, por ejemplo, mediante análisis de Fourier de los datos de medición, siendo posibles también otras opciones de análisis, para extraer parámetros de perturbación de la serie por lo demás predominantemente armónica de datos de medición. De ese modo, se pueden analizar a partir de los datos de medición estados dinámicos secundarios tales como carga de flexión, oscilaciones de la torre de la góndola, etc. Es concebible además utilizar dichos datos obtenidos adicionales acerca del estado dinámico secundario para el control del sistema de regulación del calado de las palas o del conjunto de la instalación energética. Para ello, se pueden transferir los datos obtenidos acerca del estado dinámico secundario a una unidad de control superior o a los sistemas de regulación del calado de las palas.

A continuación, se describe más detalladamente la invención a partir de ejemplos únicamente ilustrativos representados en las siguientes figuras:

Fig. 1 Proyección esquemática en tres vistas que representa la disposición de los sensores de medida dentro de un aerogenerador según una forma de realización;

Fig. 2 Representación esquemática de otra posible disposición de sensores de medida según otra forma de realización;

Fig. 3 Representa posibles diagramas de bloques de una forma de realización de la instalación de medición;

Fig. 4 Representa la posición de los sistemas de coordenadas de medida, de los sistemas de coordenadas de referencia y de un sistema de coordenadas absoluto de una forma de realización;

Fig. 5 Representa etapas de proceso para la determinación de los parámetros dinámicos a partir de las magnitudes vectoriales según un ejemplo de realización de la invención;

Fig. 6 Representa la disposición de las fuerzas de medida radiales y tangenciales de una forma de realización;

Fig. 7 Representa un diagrama de bloques de un procedimiento numérico para el cálculo de los parámetros dinámicos de una forma de realización.

La Fig. 1 muestra, en una proyección esquemática en tres vistas, la disposición de sensores 06 dentro de un aerogenerador 01. La Fig. 1a muestra una vista en alzado del aerogenerador 01, la Fig. 1b una vista de perfil y la Fig. 1c una vista en planta. El aerogenerador 01 consta de una torre 02, sobre la que está dispuesta de forma giratoria una góndola 03. Dicha góndola 03 se puede mover, como se representa mediante las flechas de movimiento 09 y 10, tanto en el plano horizontal (acimut de la góndola) como en el plano vertical (elevación de la góndola) para orientar el eje del rotor en la dirección del viento. Dentro de la góndola 03 está alojado el árbol 05 del rotor. El buje del árbol 05 del rotor consta de tres palas 04 de rotor. Es posible modificar el ángulo 08 de calado de las palas de rotor, es decir, el ángulo de ataque (calado) de la pala de rotor hacia el viento, es decir, con respecto al eje de la pala de rotor. Para ello se definen los tres grados de libertad fundamentales del aerogenerador 01: Calado 08 de la pala del rotor, elevación 09 de la góndola y acimut 10 de la góndola. En la disposición representada, los sensores 06 de medida se alojan en la raíz de la pala de rotor, es decir, en el sistema de regulación del calado de la pala. Estos miden la velocidad de rotación del rotor de forma indirecta determinando las fuerzas presentes, compuestas por la fuerza centrífuga, la fuerza de aceleración y la fuerza de gravedad.

La Fig. 2 muestra un aerogenerador 01, que consta igualmente de una torre 02, una góndola 03, un rotor con eje 05 de rotor y tres palas 04 de rotor. En este caso, los sensores 06 de medida están dispuestos en las puntas de la pala de rotor, de modo que los sensores 06 de medida pueden captar fuerzas intensas incluso con velocidades de rotación bajas. Esta disposición de los sensores de medida 06 con una gran separación radial respecto al eje del árbol 05 de rotor mejora la precisión, especialmente para velocidades de rotación bajas, pero también se puede combinar con otra serie de sensores de medida, dispuestos con poca separación radial respecto al eje de rotor, para calcular, por ejemplo, errores de medida y mejorar la precisión de los parámetros dinámicos a calcular.

La Fig. 3a y la Fig. 3b muestran diagramas de bloques que representan el montaje fundamental de la instalación para el cálculo de los parámetros dinámicos. En la Fig. 3a, la instalación comprende tres sensores 11 de fuerza que están conectados con una unidad 12 de cálculo mediante conexiones 18 de datos que conectan el sensor de medida con la unidad de cálculo. Dentro de la unidad 12 de cálculo, a partir de los valores vectoriales de fuerza se determinan los parámetros dinámicos velocidad de rotación, aceleración angular y ángulo de rotación, y se transfieren mediante una conexión 19 de datos que conecta la unidad de cálculo con un sistema 13 de regulación del ángulo de calado de las palas al sistema 13 de regulación del ángulo de calado de las palas, que ajusta el ángulo de ataque de la pala de rotor a partir de los parámetros dinámicos calculados.

La Fig. 3b muestra otro ejemplo de realización de una instalación que comprende tres sensores 11 de fuerza que comunican los sensores de medida con la unidad 12 de cálculo mediante tres conexiones 18 de datos. Además, dentro de la instalación se aloja un sensor 17 de medición directa que comunica una conexión 24 de datos para la transmisión de los parámetros determinados directamente (velocidad de rotación, aceleración angular o ángulo de rotación) con la unidad 12 de cálculo. La unidad 12 de cálculo está conectada a una unidad 16 de control superior mediante una conexión 20 de datos. Dicha unidad 16 de control superior puede ajustar los tres parámetros base (acimut de la góndola, elevación de la góndola y ángulo de calado de la góndola), y está conectada mediante una conexión 21 de datos con el sistema 13 de regulación del ángulo de calado de la pala, mediante una conexión 22 de datos con el sistema 14 de regulación de la elevación, y mediante una conexión 23 de datos con el sistema 15 de regulación del acimut. Los parámetros dinámicos calculados indirectamente por los sensores 11 de medida y los parámetros dinámicos calculados directamente, que se obtienen mediante el sensor 17 de medida, se recopilan y analizan en la unidad 12 de cálculo para determinar con alta precisión la velocidad de rotación, la aceleración angular y el ángulo de rotación. A partir de estos datos, que se transfieren al sistema de control 16 superior a través de la conexión 20 de datos, se ajustan valores óptimos para el calado de las palas, la elevación y el acimut de la góndola de un aerogenerador.

La Fig. 4 muestra los sistemas de coordenadas en los que se basa el procedimiento de cálculo, que se pueden utilizar con fines de transformación vectorial y de geometría vectorial para calcular los parámetros dinámicos de la instalación de aprovechamiento de energía a partir de las magnitudes vectoriales originales calculadas de cada sensor de medida individual. En la Fig. 4 se disponen tres sensores 06 de medida en posición simétrica al eje del árbol 05 del rotor. Cada uno de dichos sensores 1, 2, 3 de medida posee un sistema de coordenadas de medida local que comprende respectivamente los dos vectores base r y φ . Dentro de cada sistema de coordenadas de medida se mide la fuerza global F , que se puede representar descomponiendo los vectores base F_r y F_φ . De este modo, para el sensor 3 de medida, por ejemplo, el parámetro medido F_3 se representa mediante el parámetro radial F_{3r} y el parámetro tangencial $F_{3\varphi}$. Se ha introducido además un sistema de coordenadas de referencia X', Y' que gira igualmente con los sensores de medida. Existe además un sistema de coordenadas fijo global X, Y . Entre el sistema de coordenadas fijo X, Y y el sistema de coordenadas de referencia en rotación X', Y' se puede definir el ángulo de rotación φ . El sistema de coordenadas de referencia X', Y' coincide en la disposición representada en la Fig. 4 justamente con el sistema de coordenadas de medida local r_1, φ_1 del sensor 1 de medida.

En referencia a los vectores representados en la Fig. 4, en la Fig. 5 se bosqueja un posible proceso para determinar las fuerzas de aceleración y centrífugas a partir de las fuerzas globales captadas por los sensores de medida 1 a 3. Las fuerzas individuales F_1 , F_2 y F_3 de los sensores de medida 1 a 3 contienen tres componentes de fuerza: la fuerza centrífuga, la fuerza de aceleración angular y el peso.

En el caso representado en la Fig. 4, el rotor gira muy lentamente, de modo que el peso constituye el parámetro dominante. A partir de los sistemas de coordenadas de medida individuales, en la Fig. 5 se obtienen en una primera etapa las fuerzas medidas individuales F_1 , F_2 y F_3 con ayuda de los vectores unitarios de los sistemas de coordenadas de medida F_{1r} , $F_{1\phi}$, ...

En una segunda etapa, con ayuda de una transformación de coordenadas basada en el conocimiento de la posición relativa de los sensores de medida individuales, se representan los vectores de fuerza medidos en el sistema de coordenadas de referencia r_1 , ϕ_1 , que coincide con el sistema de coordenadas X' , Y' . De este modo se obtiene una representación de los vectores de fuerza medidos F_1 , F_2 , F_3 con ayuda de los vectores de base F_{1r} , $F_{1\phi}$, F_{21r} , $F_{21\phi}$, y F_{31r} , $F_{31\phi}$.

Si se suman en este sistema de coordenadas de referencia los tres vectores de fuerza medidos F_1 , F_2 , F_3 para obtener un vector total, las fuerzas de aceleración y centrífugas se anulan respectivamente debido a la simetría, de modo que el vector suma proporciona exactamente tres veces el vector peso $3 F_g$, lo cual se representa en una tercera etapa de la Fig. 5. Si se superponen los vectores de base radiales individuales F_{1r} , F_{21r} , F_{31r} , se puede definir un vector total F_x o bien, a partir de $F_{1\phi}$, $F_{21\phi}$, $F_{31\phi}$, un vector total F_y . El ángulo de rotación del rotor ϕ describe el ángulo entre F_x y el vector $3 F_g$, o bien entre F_y y $3 F_g$, y se puede calcular por ejemplo a partir de $\arg(\phi) = |F_y|/|F_x|$. A partir de la tercera etapa del procedimiento descrito en la Fig. 5 se puede calcular por lo tanto el módulo y posición del vector peso F_g .

Ahora se puede sustraer este vector peso F_g de las fuerzas calculadas individuales F_1 , F_2 , F_3 , obteniéndose así tres vectores resultantes F_{res1} , F_{res2} y F_{res3} que describen respectivamente solo la influencia de las fuerzas de aceleración y centrífugas. Estos vectores resultantes individuales se pueden expresar respectivamente en los sistemas de coordenadas individuales de nuevo con ayuda de los vectores de base, lo cual se representa en la quinta etapa de la Fig. 5. De este modo se obtiene directamente la dirección y el módulo de las fuerzas centrífugas F_{1res} , F_{2res} y F_{3res} y de las fuerzas de aceleración $F_{1\phi res}$, $F_{2\phi res}$ y $F_{3\phi res}$.

Finalmente, dichas fuerzas se representan de nuevo en la sexta etapa de la Fig. 5, donde llama la atención su simetría. Para determinar la calidad de las fuerzas calculadas, estas se pueden sumar, de modo que de forma ideal el vector suma es igual a cero. Si el vector suma no es igual a cero, su módulo y posición se pueden utilizar para calcular errores sistemáticos.

En la Fig. 6, en otro diagrama, se representa la posición y el módulo de la fuerza centrífuga F_r y de la fuerza de aceleración F_ϕ . El sensor 06 de medida posee una masa m y se desvía del sistema de coordenadas absolutas X , Y en el valor correspondiente al ángulo del rotor ϕ . El sensor 06 de medida gira alrededor del eje 05 de rotor. La velocidad de rotación se puede determinar, por ejemplo mediante el valor F , y la masa y el radio del sensor de medida, según la fórmula $\omega = \sqrt{|F_r|/m \cdot r}$. Además se puede calcular la aceleración angular a partir de la relación $\alpha = |F_\phi|/m \cdot r$.

La Fig. 7 muestra, en un diagrama de bloques, una posible realización para el cálculo de la velocidad de rotación a partir de la aceleración angular calculada F_ϕ . La aceleración angular calculada F_ϕ se divide mediante los elementos P 25 de control por el radio y la masa, obteniéndose así la aceleración angular α . Con ayuda de los elementos I 26 de control se integra una vez la aceleración angular α para calcular la velocidad de rotación ω , y se vuelve a integrar para obtener el ángulo de rotación ϕ . Debido a la integración, se obtiene una deriva de los ángulos de rotación y de la señal de velocidad de rotación, que requieren una corrección. Dicha corrección se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante un ángulo de posición medido con ayuda de un sensor de medida de medición directa. Por lo tanto, además de la aceleración angular medida, se puede utilizar, por ejemplo, el ángulo de rotación ϕ_{Mess} deducido a partir de la fuerza de peso medida como parámetro de entrada para el observador. El modelo de perturbaciones descrito mediante un integrador abierto de un observador de corrección reproduce el error de medida de la aceleración $\Delta\alpha$. Estos dos parámetros $\Delta\alpha$ y $\Delta\phi$ se pueden considerar para la corrección dentro de la estructura 27 del observador como sistema de evaluación para determinar la velocidad de rotación medida ω_{Mess} óptima. De este modo se puede establecer, por ejemplo, una igualdad de observador según el siguiente esquema:

$$\begin{pmatrix} \varphi(k+1) \\ \omega(k+1) \\ \Delta\alpha(k+1) \end{pmatrix} = \mathbf{A} \cdot \begin{pmatrix} \varphi(k) \\ \omega(k) \\ \Delta\alpha(k) \end{pmatrix} + \mathbf{B} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_{Medida}(k) \\ \varphi_{Medida}(k) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha(k) \\ \omega(k) \end{pmatrix} = \mathbf{C} \cdot \begin{pmatrix} \varphi(k) \\ \omega(k) \\ \Delta\alpha(k) \end{pmatrix} + \mathbf{D} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_{Medida}(k) \\ \varphi_{Medida}(k) \end{pmatrix}$$

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la determinación indirecta de parámetros dinámicos de una instalación (01) eólica o hidráulica que comprende un árbol (05) de rotor, al menos dos sensores (06) de medida directa o indirectamente anexos al árbol (05) de rotor y que giran con el árbol (05) de rotor y una unidad (12) de cálculo, caracterizado por que los sensores (06) de medida están dispuestos con simetría de giro respecto al eje del árbol (05) de rotor y captan respectivamente al menos dos componentes de una magnitud vectorial F original de fuerza y/o aceleración en un sistema de coordenadas de medida que gira con el eje del árbol (05) de rotor, y por que los sensores (06) de medida para el intercambio de datos están conectados con la unidad (12) de cálculo, en donde la unidad (12) de cálculo calcula al menos uno de los siguientes parámetros dinámicos: aceleración angular α , velocidad de rotación ω y ángulo de rotación φ del árbol (05) de rotor a partir de las magnitudes vectoriales F originales medidas.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que los sensores (06) de medida son sensores de aceleración.
3. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que los sensores (06) de medida son sensores (11) de fuerza.
4. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que los sensores (06) de medida están integrados en el árbol (05) de rotor, especialmente en el buje del rotor.
5. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que cada sensor (06) de medida está integrado en un sistema (13) de regulación del calado de una pala (04) del rotor, especialmente en el sistema de accionamiento del sistema (13) de regulación del calado de la pala.
6. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que cada sensor (06) de medida está integrado en una pala (04) de rotor.
7. Dispositivo según la reivindicación 6, caracterizado por que varios sensores (06) de medida están integrados en una pala (04) de rotor a diferentes distancias del eje del árbol (05) del rotor.
8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los sensores (06) de medida transmiten los parámetros de medida de forma inalámbrica a la unidad (12) de cálculo.
9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la unidad (12) de cálculo está dispuesta en la parte en rotación de la instalación (01) eólica o hidráulica, especialmente en el árbol (05) del rotor o anexa a este, especialmente en el buje del rotor o anexa a este.
10. Dispositivo según la reivindicación 9, caracterizado por que la unidad (12) de cálculo está integrada en un sistema (13) de regulación del calado de una pala (04) del rotor, especialmente en un sistema de accionamiento del sistema (13) de regulación del calado de la pala.
11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la unidad (12) de cálculo está conectada con al menos una unidad (16) de control superior de la instalación eólica o hidráulica (01) para el intercambio de datos.
12. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado por que la unidad (16) de control superior controla parámetros de posición como el ángulo (08) de calado de pala de rotor, la elevación (09) de la góndola o el acimut (10) de la góndola en función de datos de la unidad (12) de cálculo.
13. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10,

caracterizado por que
la unidad (12) de cálculo está conectada con al menos un sistema (13) de regulación del calado de una pala (04) del rotor para el intercambio de datos.

- 5 14. Dispositivo según la reivindicación 12 o 13,
caracterizado por que
la unidad (12) de cálculo transmite datos de forma inalámbrica a la unidad (16) de control superior y/o al sistema (13) de regulación del calado de pala.
- 10 15. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
el dispositivo comprende al menos otro sensor (17) de medida que está conectado con la unidad (12) de cálculo y que mide directamente parámetros dinámicos.
- 15 16. Procedimiento para la determinación indirecta de parámetros dinámicos de una instalación (01) eólica o hidráulica con árbol (05) de rotor
caracterizado por que
se llevan a cabo las siguientes etapas de procedimiento:
Medición de al menos dos componentes de una magnitud vectorial F original fuerza y/o aceleración en un sistema de coordenadas de medida local que gira con el eje del árbol (05) del rotor mediante sensores (06) de medida dispuestos respectivamente al menos con simetría de giro alrededor del eje del árbol (05) de rotor y que rotan con este;
transmisión de los datos de medición a la unidad (12) de cálculo;
cálculo de al menos uno de los siguientes parámetros dinámicos: aceleración angular α , velocidad de rotación ω y ángulo de rotación φ del árbol (05) del rotor a partir de las magnitudes vectoriales F originales por parte de la unidad (12) de cálculo.
- 20 17. Procedimiento según la reivindicación 16,
caracterizado por que
la medición de las magnitudes vectoriales F se realiza mediante al menos dos grupos de sensores (06) de medida dispuestos simétricamente con diferentes separaciones radiales, y por que se tienen en cuenta las magnitudes vectoriales F de cada grupo para el cálculo de los parámetros dinámicos.
- 25 18. Procedimiento según la reivindicación 16 o 17,
caracterizado por que
la transmisión de los datos de medición a la unidad (12) de cálculo tiene lugar de forma inalámbrica.
- 30 19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18,
caracterizado por que
el cálculo de los parámetros dinámicos tiene en cuenta datos de medición de al menos otro sensor (17) de medida, en donde el sensor (17) de medida mide directamente los parámetros dinámicos.
- 35 20. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 19,
caracterizado por que
el cálculo de los datos de medida del sensor (17) de medición directa se utiliza para corregir los parámetros dinámicos calculados mediante la medición indirecta.
- 40 21. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 20,
caracterizado por que
un sistema de coordenadas de medida local (r, φ) que gira con el eje del rotor se fija a cada sensor (06) de medida, en donde cada sensor (06) de medida capta la magnitud vectorial F original determinando al menos dos componentes base F_r, F_φ en el sistema de coordenadas de medida local (r, φ), y se establece un sistema de coordenadas de referencia (X', Y') que gira con el eje del rotor, en donde el cálculo del parámetro dinámico a partir de la magnitud vectorial F original comprende las siguientes etapas:
Representación de la magnitud vectorial F original de cada sensor (06) de medida mediante al menos dos componentes base medidas F_r, F_φ de la magnitud vectorial F en el sistema de coordenadas de medida local (r, φ) en movimiento del sensor (06) de medida;
transformación de las componentes base medidas F_r, F_φ de los sistemas de coordenadas de medida en el sistema de coordenadas de referencia (X', Y');
suma vectorial de las componentes base transformadas medidas $F_{rx'}, F_{ry'}$ en el sistema de coordenadas de referencia (X', Y') para calcular los vectores suma $F_{x'}, F_{y'}$ que determinan el vector peso F_g ;
cálculo del vector resultante F_{res} mediante sustracción del vector peso F_g a la magnitud vectorial F original medida de cada sensor (06) de medida, $F_{res} = F - F_g$;
representación del vector resultante F_{res} mediante las componentes base F_r, F_φ del sistema de coordenadas de medida (r, φ) de cada sensor (06) de medida;
extracción de las componentes radial F_{rres} y tangencial $F_{\varphi res}$ de la magnitud vectorial F original.
- 45 50 55 60 65

22. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 21, caracterizado por que el cálculo de los parámetros dinámicos comprende además las siguientes etapas:
 5 Cálculo del ángulo de rotación φ con respecto al sistema de coordenadas de referencia X' , Y' a partir de la relación: $\varphi = \arg(F_y, F_x)$;
 cálculo de la velocidad de rotación y de la aceleración angular a partir de la ley $\omega = d\varphi/dt$, $\alpha = d\omega/dt$.
23. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 22, caracterizado por que el cálculo de los parámetros dinámicos comprende además las siguientes etapas:
 10 Cálculo de la velocidad de rotación ω con respecto al sistema de coordenadas de referencia (X' , Y') a partir de la relación: $\omega = \sqrt{|F_{res}|/m \cdot r}$;
 cálculo del ángulo de rotación y de la aceleración angular a partir de la ley $\varphi = \int \omega \cdot dt$, $\alpha = d\omega/dt$.
24. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 23, caracterizado por que el cálculo de los parámetros dinámicos comprende además las siguientes etapas:
 20 Cálculo de la aceleración angular α con respecto al sistema de coordenadas de referencia (X' , Y') mediante la siguiente relación: $\alpha = |F_{\varphi res}|/m \cdot r$;
 cálculo de la velocidad de rotación y del ángulo de rotación a partir de la ley $\omega = \int \alpha \cdot dt$, $\varphi = \int \omega \cdot dt$.
25. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 24, caracterizado por que se evalúa la calidad de los parámetros dinámicos calculados a partir del módulo del vector suma de las componentes tangencial - $F_{\varphi res}$ y/o radial F_{res} calculadas.
26. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 25, caracterizado por que los parámetros dinámicos calculados se transmiten de la unidad (12) de cálculo a una unidad (16) de control superior que, a partir de los parámetros dinámicos, controla parámetros de posición tales como el calado (08) de las palas de rotor, la elevación (09) de la góndola o el acimut (10) de la góndola.
27. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 25, caracterizado por que los parámetros dinámicos calculados se transmiten de la unidad (12) de cálculo a un sistema (13) de regulación del calado de una pala (04) de rotor que controla el calado (08) de la pala de rotor a partir de los parámetros dinámicos.
28. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 24, caracterizado por que en el cálculo se llevan a cabo las operaciones matemáticas necesarias, especialmente diferenciaciones y/o integraciones, mediante un procedimiento numérico iterativo.
29. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 20 a 28, caracterizado por que en el marco del procedimiento numérico iterativo se utilizan los parámetros de medida del sensor (17) de medición directa para corregir los parámetros dinámicos calculados mediante la medición indirecta.
30. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 29, caracterizado por que a partir de los datos de medición por los sensores (06) de medida se calculan informaciones adicionales sobre un estado dinámico secundario de la instalación (01) eólica o hidráulica, especialmente comportamientos de oscilaciones, flexiones y similares.
31. Procedimiento según la reivindicación 30, caracterizado por que las informaciones sobre el estado dinámico secundario de la instalación (01) eólica o hidráulica se transmiten con fines de control a una unidad (16) de control superior o a un sistema (13) de regulación del calado de las palas de rotor.

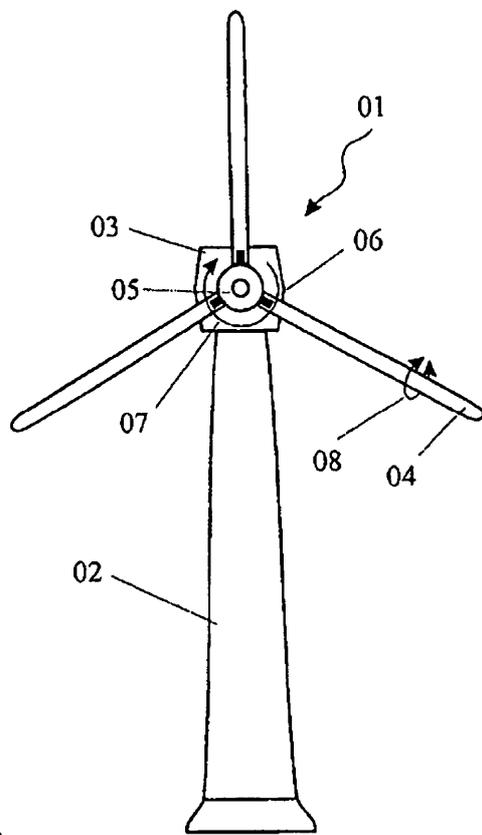


Fig. 1a

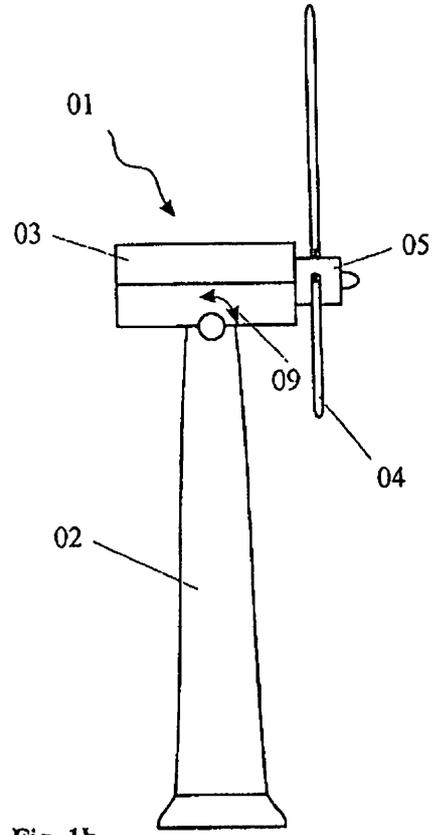


Fig. 1b

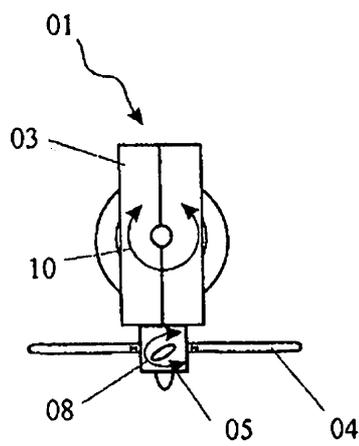


Fig. 1c

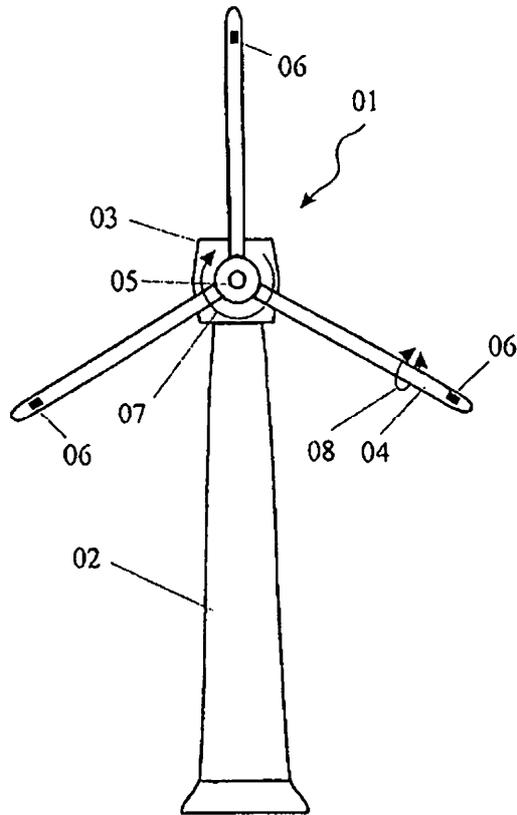


Fig. 2

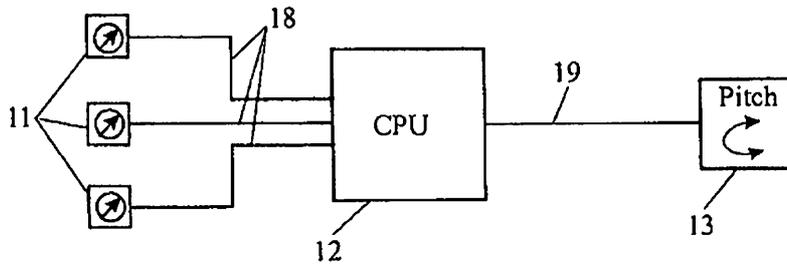


Fig. 3a

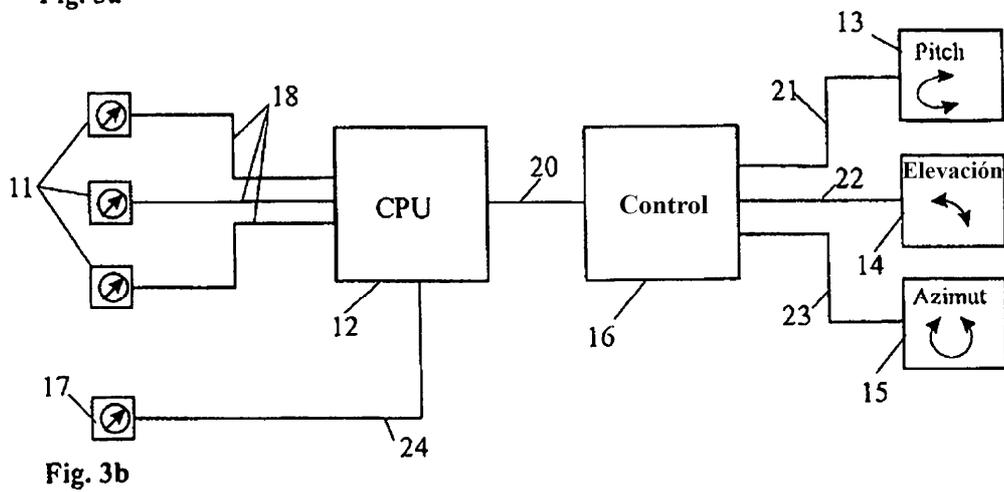


Fig. 3b

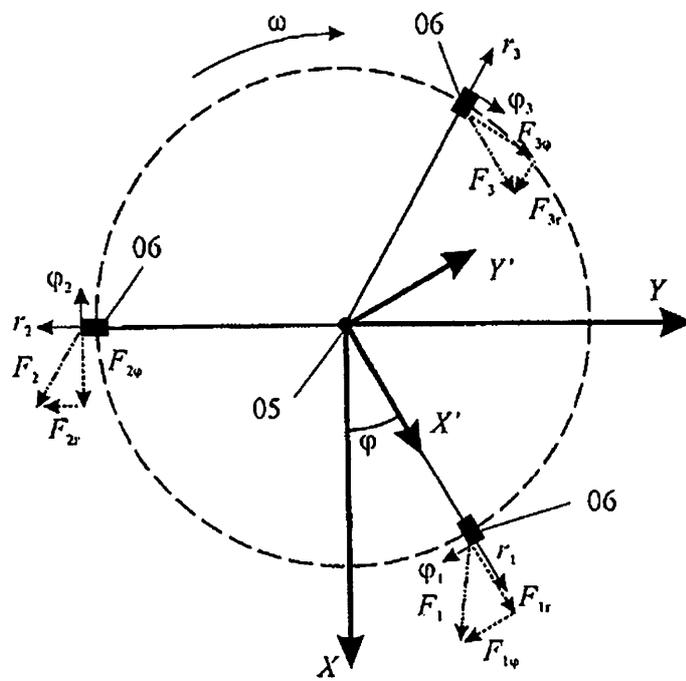


Fig. 4

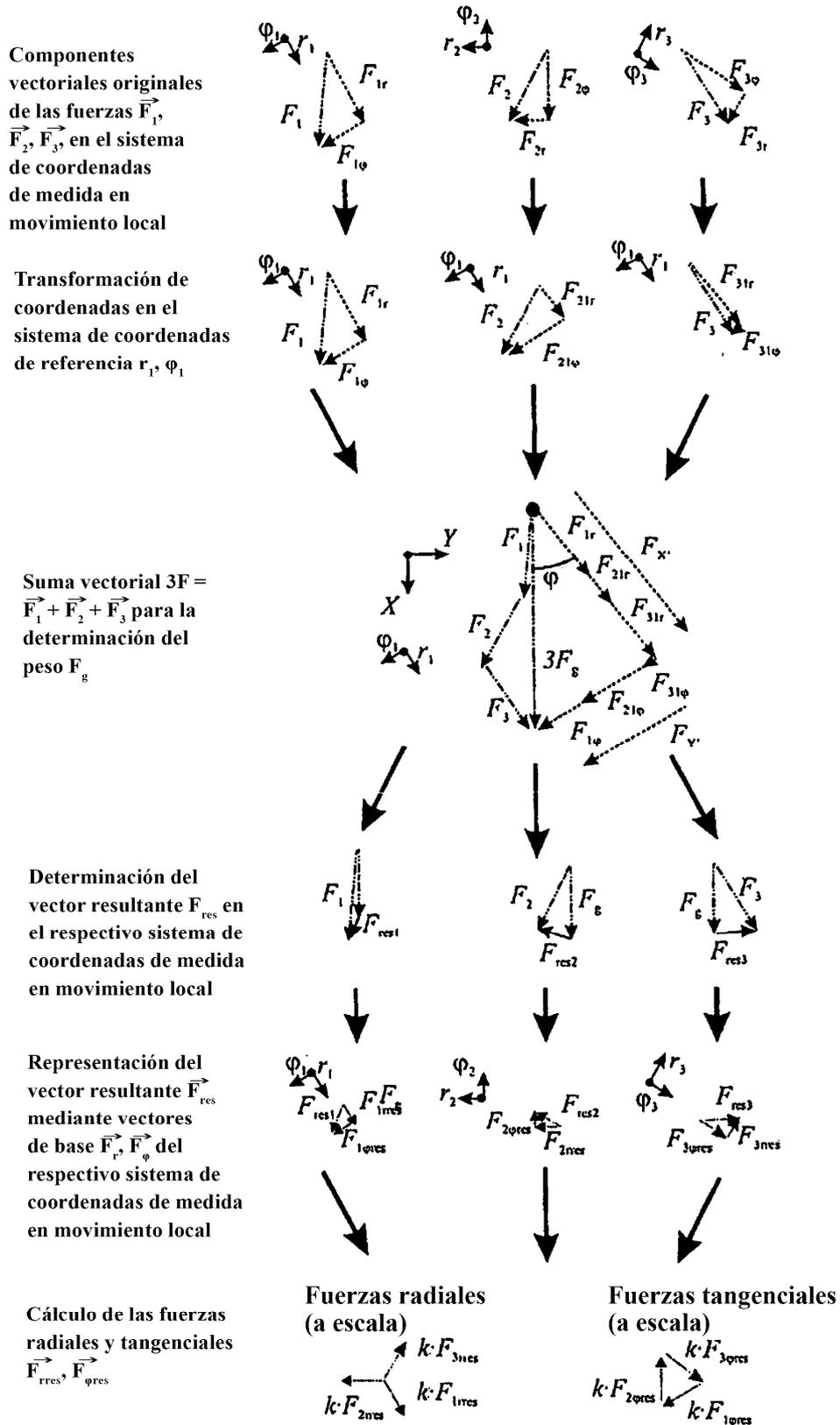


Fig. 5

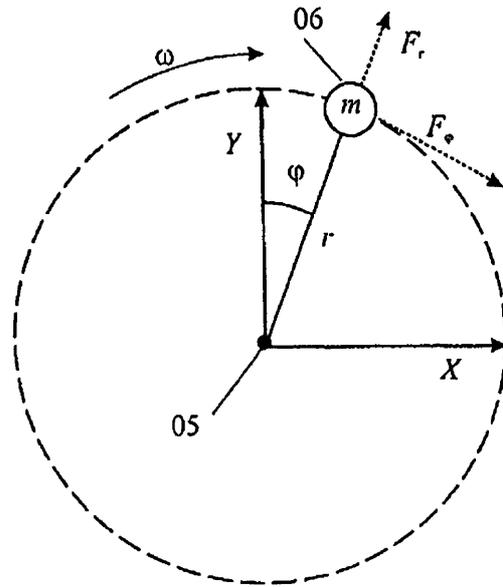


Fig. 6

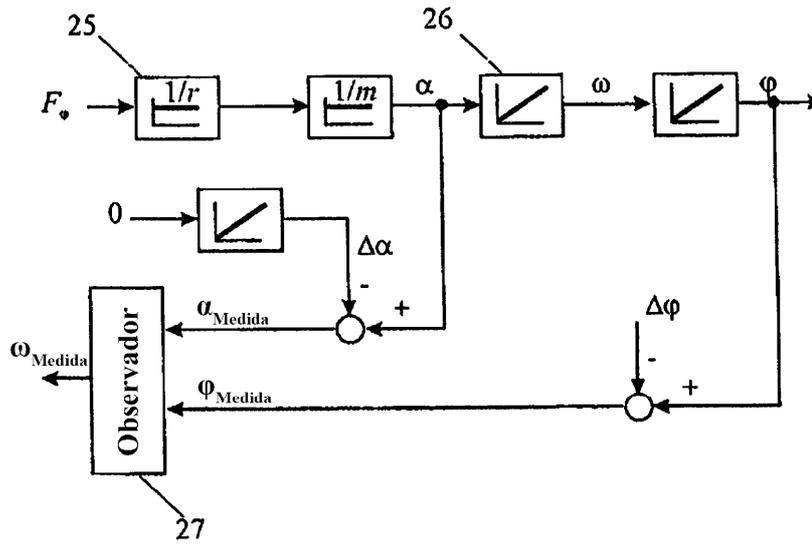


Fig. 7