

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 990**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2005** **E 05252587 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015** **EP 1612413**

54 Título: **Procedimientos y aparato para la reducción de cargas de rotor asimétricas en turbinas eólicas**

30 Prioridad:

30.06.2004 US 881244

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

04.05.2015

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:

MOROZ, EMILIAN MIECZYSLAW y
PIERCE, KIRK GEE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 534 990 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

Procedimientos y aparato para la reducción de cargas de rotor asimétricas en turbinas eólicas

La presente invención se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más particularmente, a procedimientos y a un aparato para reducir de manera eficiente la carga en turbinas eólicas.

5 Recientemente, las turbinas eólicas han recibido una mayor atención como una fuente de energía alternativa ambientalmente segura y relativamente barata. Con este creciente interés, se han hecho esfuerzos considerables para desarrollar turbinas eólicas que sean fiables y eficientes.

En general, una turbina eólica incluye un rotor que tiene múltiples palas. El rotor está montado dentro de un alojamiento o góndola, que se coloca en la parte superior de un armazón o torre tubular. Las turbinas eólicas de una red de suministro eléctrico (es decir, turbinas eólicas diseñadas para proporcionar energía eléctrica a una red de suministro eléctrico) pueden tener grandes rotores (por ejemplo, 30 o más metros de diámetro). Las palas en estos rotores transforman la energía del viento en un par o fuerza de rotación que acciona uno o más generadores, acoplados rotacionalmente al rotor a través de una caja de engranajes. La caja de engranajes puede utilizarse para intensificar la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor de la turbina para que el generador convierta eficientemente la energía mecánica en energía eléctrica, que es alimentada a una red de suministro eléctrico. Algunas turbinas utilizan generadores que están acoplados directamente al rotor sin usar una caja de engranajes.

Una carga asimétrica a través del rotor de la turbina eólica se produce debido a fuerzas de cizalladura verticales y horizontales del viento, desalineación de guiñada y turbulencias. Las fuerzas de cizalladura horizontales del viento, la desalineación de guiñada y las turbulencias naturales son algunos de los principales desencadenantes de las cargas asimétricas en un rotor de turbina eólica. Estas cargas, junto con las cargas de fuerzas de cizalladura verticales y/o horizontales del viento, contribuyen a cargas extremas y el número de ciclos de fatiga acumulados por un sistema de turbina eólica. El control de la carga asimétrica se puede usar para reducir los efectos de las cargas extremas y de los ciclos de fatiga, pero requiere un considerable aumento en la actividad del sistema de paso para este tipo de control con respecto al control estándar del paso colectivo solamente.

25 Varias plantas de energía eólica convencionales se describen, por ejemplo, en los documentos EP 0 995 904 y WO 02/064973.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

Por lo tanto, configuraciones de la presente invención se verá que reducen de manera eficiente los efectos de cargas extremas y ciclos de fatiga sin aumentar excesivamente la actividad del sistema de paso. Más particularmente, la actividad de paso se reducirá por debajo de un nivel que sería necesario para el control de la carga asimétrica en las configuraciones convencionales, en las que la orientación de guiñada no se ajusta de una manera eficaz.

La invención se describirá ahora con mayor detalle, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los cuales:

La figura 1 es un dibujo de una configuración ejemplar de una turbina eólica.

35 La figura 2 es una vista en perspectiva en sección de una góndola de la configuración de turbina eólica ejemplar mostrada en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de bloques de una configuración ejemplar de un sistema de control para la configuración de la turbina eólica que se muestra en la figura 1.

40 La figura 4 es una vista en perspectiva de una porción del árbol del rotor principal y un sensor usado en algunas configuraciones de la presente invención.

La presente invención se refiere a la reducción eficiente de la carga en las turbinas eólicas. Efectos técnicos de la presente invención incluyen una reducción de los efectos de las cargas extremas y ciclos de fatiga, sin un aumento indebido en la actividad del sistema de paso. El ajuste de guiñada en conjunción con el control de paso de las palas reduce la carga asimétrica neta y, por lo tanto, la actividad de paso requerida que se produce en respuesta a la asimetría de la carga del rotor. La alineación de guiñada se ajusta lentamente hacia una orientación de guiñada media que reduce la actividad de paso necesaria para hacer frente a las condiciones atmosféricas prevalecientes y, sin embargo, mantiene la captura de energía. El paso de cada pala del rotor se ajusta de acuerdo con un ángulo de paso determinado para reducir la carga asimétrica del rotor, mientras se regula la potencia o par. En muchas configuraciones, el control de paso es relativamente más rápido que el control de guiñada y, por lo tanto, se utiliza de manera más activa para la reducción de la carga asimétrica que es la alineación de guiñada.

En algunas configuraciones y con referencia a la figura 1, una turbina eólica 100 en algunas configuraciones comprende una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la figura 1). La góndola 102 está montada encima de una torre 104 alta, sólo una porción de la cual se muestra en la figura 1. La turbina eólica 100 comprende también un rotor 106 que incluye una pluralidad de palas 108 del rotor unidas a un buje giratorio 110. Aunque la

turbina eólica 100 ilustrada en la figura 1 incluye tres palas 108 del rotor, no hay límites específicos acerca del número de palas 108 del rotor requeridas por la presente invención.

En algunas configuraciones y con referencia a la figura 2, diversos componentes están alojados en la góndola 102 encima de la torre 104 de la turbina eólica 100. La altura de la torre 104 se selecciona en base a factores y condiciones conocidas en la técnica. En algunas configuraciones, uno o más microcontroladores dentro del panel de control 112 comprenden un sistema de control se utilizan para el control y la monitorización general del sistema, que incluye el paso y la regulación de la velocidad, el árbol de alta velocidad y la aplicación del freno de guiñada, la aplicación de la guiñada y el motor de la bomba y la monitorización de fallos. Arquitecturas de control alternativas distribuidas o centralizadas se utilizan en algunas configuraciones.

En algunas configuraciones, el sistema de control proporciona señales de control a una unidad 114 de paso de pala variable para controlar el paso de las palas 108 (no mostradas en la figura 2) que accionan el buje 110 como consecuencia del viento. En algunas configuraciones, el buje 110 recibe tres palas 108, pero otras configuraciones pueden utilizar cualquier número de palas. En algunas configuraciones, los pasos de las palas 108 se controlan individualmente mediante unidad 114 de paso de las palas. El buje 110 y las palas 108 juntos comprenden el rotor 106 de la turbina eólica.

El tren de accionamiento de la turbina eólica incluye un árbol 116 del rotor principal (también llamado como un "árbol de baja velocidad") conectado al buje 110 y una caja de engranajes 118 que, en algunas configuraciones, utiliza una geometría de doble trayectoria para accionar un árbol de alta velocidad encerrado dentro de la caja de engranajes 118. El árbol de alta velocidad (no mostrado en la figura 2) se utiliza para accionar el generador 120. En algunas configuraciones, el par del rotor se transmite a través del acoplamiento 122. El generador 120 puede ser de cualquier tipo adecuado, por ejemplo, un generador de inducción de rotor bobinado. En algunas configuraciones de la presente invención no se utiliza una caja de engranajes, y en su lugar, el árbol del rotor acciona directamente el generador 120.

Una unidad de guiñada 124 y una cubierta de guiñada 126 proporcionan un sistema de orientación de guiñada de la turbina eólica 100. En algunas configuraciones, el sistema de orientación de guiñada se acciona eléctricamente y se controla mediante el sistema de control de acuerdo con la información recibida desde los sensores utilizados para medir el desplazamiento de la brida del árbol, como se describe a continuación. Sin embargo, una veleta 128 puede proporcionarse como un sistema de seguridad o redundante para el suministro de información para el sistema de orientación de guiñada. En algunas configuraciones, el sistema de guiñada está montado sobre una brida proporcionada en la parte superior de la torre 104.

En algunas configuraciones y con referencia a la figura 3, un sistema de control 300 para la turbina eólica 100 incluye un bus 302 u otro dispositivo de comunicaciones para comunicar información. El(los) procesador(es) 304 está(n) acoplado(s) al bus 302 para procesar información, incluyendo información desde sensores configurados para medir desplazamientos o momentos. El sistema de control 300 incluye, además, una memoria de acceso aleatorio (RAM) 306 y/u otro(s) dispositivo(s) de almacenamiento 308. La RAM 306 y el(los) dispositivo(s) de almacenamiento 308 están acoplados al bus 302 para almacenar y transferir información e instrucciones para ejecutarse mediante el(los) procesador(es) 304. La RAM 306 (y también el(los) dispositivo(s) de almacenamiento 308, si se requiere) también se puede utilizar para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones mediante el(los) procesador(es) 304. El sistema de control 300 también puede incluir memoria de sólo lectura (ROM) y/u otro dispositivo de almacenamiento estático 310, que está acoplado al bus 302 para almacenar y proporcionar información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) al procesador(es) 304. El(los) dispositivo(s) de entrada/salida 312 puede(n) incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al sistema de control 300 y proporcionar salidas de control de guiñada y de control de paso. Las instrucciones se proporcionan a la memoria desde un dispositivo de almacenamiento, tal como un disco magnético, un circuito integrado con memoria de sólo lectura (ROM), CD-ROM, DVD, a través de una conexión remota que es por cable o inalámbrica que proporciona acceso a uno o más medios electrónicamente accesibles, etc. En algunas realizaciones, los circuitos cableados se pueden utilizar en lugar de, o en combinación con, instrucciones de software. Por lo tanto, la ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software. La interfaz 314 del sensor es una interfaz que permite que el sistema de control 300 se comunique con uno o más sensores. La interfaz 314 del sensor puede ser o puede comprender, por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital, que convierten las señales analógicas en señales digitales que pueden ser utilizadas por el(los) procesador(es) 304.

Cargas asimétricas que actúan sobre las palas 108 del rotor de la turbina eólica se traducen en momentos que actúan sobre el buje 110 y posteriormente el árbol 116 de baja velocidad. Haciendo referencia a la figura 4, estos momentos se manifiestan como deflexiones o tensiones en la brida 132 del árbol principal. Los sensores 134, tales como sensores de proximidad, se utilizan para medir el desplazamiento de la brida 132 del árbol principal. En algunas configuraciones, cada sensor 134 está montado sobre un soporte 136 del sensor que está unido a un cojinete principal 130. Las lecturas de sensor desde los sensores 134 que indican los desplazamientos o momentos medidos son utilizadas por el sistema de control para determinar un comando de paso para cada pala 108 de rotor para reducir o contar la carga asimétrica del rotor y unos bucles de control secundarios determinan una orientación de guiñada favorable para reducir la actividad de paso. En algunas configuraciones, por lo menos tres sensores se

utilizan para medir los desplazamientos de la brida 132 del árbol principal de la turbina eólica 100 resultante de las cargas asimétricas. También en algunas configuraciones, los sensores 134 son sensores de proximidad que miden el desplazamiento de la brida 132 del árbol principal respecto a un marco de referencia sin deflexión, por ejemplo, el cojinete principal 130. Algunas configuraciones utilizan cuatro sensores con una separación de 90 grados para medir los desplazamientos de la brida 132 del árbol.

Un sistema de control de retroalimentación se utiliza en algunas configuraciones de la presente invención para reducir las cargas asimétricas que actúan sobre el rotor 106, el árbol 116, y que se trasladan a otros componentes de la turbina.

El cabeceo cíclico de las palas 108 se utiliza para reducir los efectos de todas las fuerzas de cizalladura y turbulencias. Sin embargo, en algunas configuraciones de la presente invención, la cantidad de actividad de paso y las cargas totales del sistema se reducen también usando el control de guiñada para minimizar o eliminar las contribuciones a la asimetría del rotor como un resultado de la desalineación de guiñada y fuerzas de cizalladura del viento horizontales. Además, la energía se maximiza en algunas configuraciones usando todo el rotor 108 como un sensor para la desalineación de guiñada en lugar del anemómetro 128 montado en la góndola. La carga asimétrica se produce como resultado de las fuerzas de cizalladura verticales y horizontales del viento, la desalineación de guiñada, y las turbulencias. Esta carga se traduce en momentos del buje 110 y del árbol 116 de baja velocidad. Estos momentos se manifiestan por sí mismos como desviaciones o tensiones en el árbol 116 y momentos que actúan en varias posiciones a través del sistema de la turbina eólica.

En algunas configuraciones de la presente invención, la medición del desplazamiento o de los momentos del árbol 116 en otras posiciones de la turbina causadas por las cargas asimétricas se utiliza como una indicación de la magnitud de la carga asimétrica. Las señales que representan estas mediciones se proporcionan a la interfaz 314 del sensor y se utilizan mediante el(los) procesador(es) 304 para determinar un comando de paso para cada pala 108 del rotor, que se lleva a cabo utilizando la unidad de paso 114 y una orientación de guiñada favorable. Una unidad de guiñada 124 y una cubierta de guiñada 126 se utilizan para ajustar la alineación de guiñada de la turbina eólica, de acuerdo con la orientación de guiñada favorable usando cualquier técnica de control clásica o moderna conocida adecuada conocida en la técnica para reducir las cargas asimétricas. Así, la regulación de guiñada se produce sobre una base relativamente baja de frecuencia en algunas configuraciones de la presente invención, y en algunas configuraciones se realiza con menos frecuencia que el ajuste de paso de cada pala 108 del rotor. También se implementa la regulación de guiñada (por ejemplo, como instrucciones de software almacenadas en la ROM 310 y ejecutadas por el(los) procesador(es) 304) como un bucle de control secundario que actúa para eliminar los efectos de cizalladura del viento horizontal y cualquier desalineación de guiñada que pueda estar induciendo cargas asimétricas en el rotor 106. El sistema de paso, que incluye unidades de paso 114, se alivia así de tener que hacer frente a estos efectos, lo que reduce su nivel de actividad. Como resultado, se reducen el desgaste y el desgarramiento, el consumo de energía y los costes asociados con el sistema de paso. Asimismo, el reemplazo de la alineación del viento basada en la pala de guiñada (viento) montada en la góndola con la alineación del viento basada en el rotor también puede proporcionar una mayor captación de energía en algunas configuraciones. Sin embargo, se puede usar una pala 128 de guiñada (viento) montada en la góndola como un sensor de seguridad para aumentar la fiabilidad en diversas configuraciones de la presente invención.

La transformación de coordenadas, los procedimientos de estimación de sesgo, y/u otras técnicas de control conocidas en la técnica pueden ser utilizadas en diversas configuraciones mediante el sistema de control 300 para determinar un incremento del paso para cada pala 108 del rotor, para reducir o contrarrestar la carga general asimétrica del rotor. Un bucle de control secundario, utilizando la información obtenida a partir del mismo conjunto de sensores, evalúa una alineación de guiñada que puede minimizar la cantidad de actividad de paso, manteniendo o mejorando la captación de energía. El bucle de control secundario también acciona gradualmente el rotor 106 en la nueva orientación de alineación de guiñada. En algunas configuraciones, unas unidades de bucle de retroalimentación mantienen la orientación en la mejor (o casi la mejor) dirección. En algunas configuraciones, los bucles de retroalimentación separados se utilizan para ajustar la alineación de guiñada y para ajustar el paso.

Las mayores cizalladuras del viento pueden producirse por debajo de la velocidad nominal del viento y así puede ser necesario el paso de pala asimétrico a una velocidad inferior a la velocidad nominal del viento o la turbina eólica podría beneficiarse de una orientación de guiñada que no sea directamente contra el viento para ayudar a reducir las cargas asimétricas que pudieran producirse.

Por lo tanto, se apreciará que las configuraciones de la presente invención reducen de manera eficiente los efectos de las cargas extremas y los ciclos de fatiga sin aumentar excesivamente la actividad del sistema de paso. Una funcionalidad adicional que se puede proporcionar en algunas configuraciones de la presente invención incluye, pero no se limita a, descarga de unidades de guiñada 124 a través del uso de momentos de guiñada inducidos a través del cabeceo cíclico, proporcionando detenciones de precaución de la turbina eólica en el caso de cambios extremos de dirección del viento o por lo menos cambios en exceso de una cantidad predeterminada, proporcionando redundancia para la orientación de guiñada, y cargas extremas atenuantes debido a la reducción de la superficie proyectada. Varias configuraciones de la presente invención también reducen la fatiga y las cargas extremas de las palas del rotor y otros componentes de la turbina.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para reducir la carga en una turbina eólica (100), estando dicho procedimiento **caracterizado por:**

5 medir los desplazamientos o momentos resultantes de cargas asimétricas en la turbina eólica, midiendo el desplazamiento de una brida (132) del árbol principal;

 utilizar dichos desplazamientos o momentos medidos para determinar un paso para cada pala (108) del rotor para reducir o contrarrestar una carga asimétrica del rotor y un bucle de control secundario para determinar una orientación de guiñada favorable para reducir la actividad de paso y para ajustar la alineación de guiñada de la turbina eólica, de acuerdo con la orientación de guiñada favorable; y

10 ajustar el paso de cada pala (108) del rotor, de acuerdo con el paso determinado para reducir o contrarrestar una carga asimétrica del rotor.

2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha determinación de un paso para cada pala (108) del rotor para reducir o contrarrestar una carga asimétrica del rotor comprende además la utilización de una transformación de coordenadas para determinar un incremento de paso para cada pala (108) del rotor.

15 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha determinación de un paso para cada pala (106) del rotor para reducir o contrarrestar una carga asimétrica del rotor comprende además la utilización de una estimación de desviación para determinar un incremento de paso para cada pala del rotor.

4. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, comprendiendo además dicho procedimiento:

20 utilizar al menos tres sensores (134) para medir los desplazamientos de la brida (132) del árbol principal de la turbina eólica resultantes de cargas asimétricas en la turbina eólica.

5. Una turbina eólica (100) que comprende un rotor (106) que tiene una pluralidad de palas (108) del rotor y un buje (110), comprendiendo también dicha turbina eólica un sistema de control (300) y una pluralidad de sensores (132) configurados para medir desplazamientos o momentos resultantes de cargas asimétricas en la turbina eólica, **caracterizada porque** dicho sistema de control (300) está configurado para:

25 usar dichos desplazamientos o momentos resultantes de cargas asimétricas en la turbina eólica (100) medidos como el desplazamiento de una brida (132) del árbol principal para determinar un paso para cada pala (108) del rotor para reducir o contrarrestar una carga asimétrica del rotor y un bucle de control secundario para determinar una orientación de guiñada favorable para reducir la actividad de paso y para ajustar la alineación de guiñada de la turbina eólica, de acuerdo con la orientación de guiñada favorable; y

30 ajustar el paso de cada pala (108) del rotor de acuerdo con el paso determinado para reducir o contrarrestar una carga del rotor asimétrica.

6. Una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 5, en la que para determinar un paso para cada pala (108) del rotor para reducir o contrarrestar una carga del rotor asimétrica, dicho sistema de control (300) está configurado además para utilizar una transformación de coordenadas para determinar un incremento de paso para cada pala (108) del rotor.

35 7. Una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 5, en la que para determinar un paso para cada pala del rotor (108) para reducir o contrarrestar una carga del rotor asimétrica, dicho sistema de control (300) está configurado además para utilizar una estimación de sesgo para determinar un incremento de paso para cada pala (108) del rotor.

40

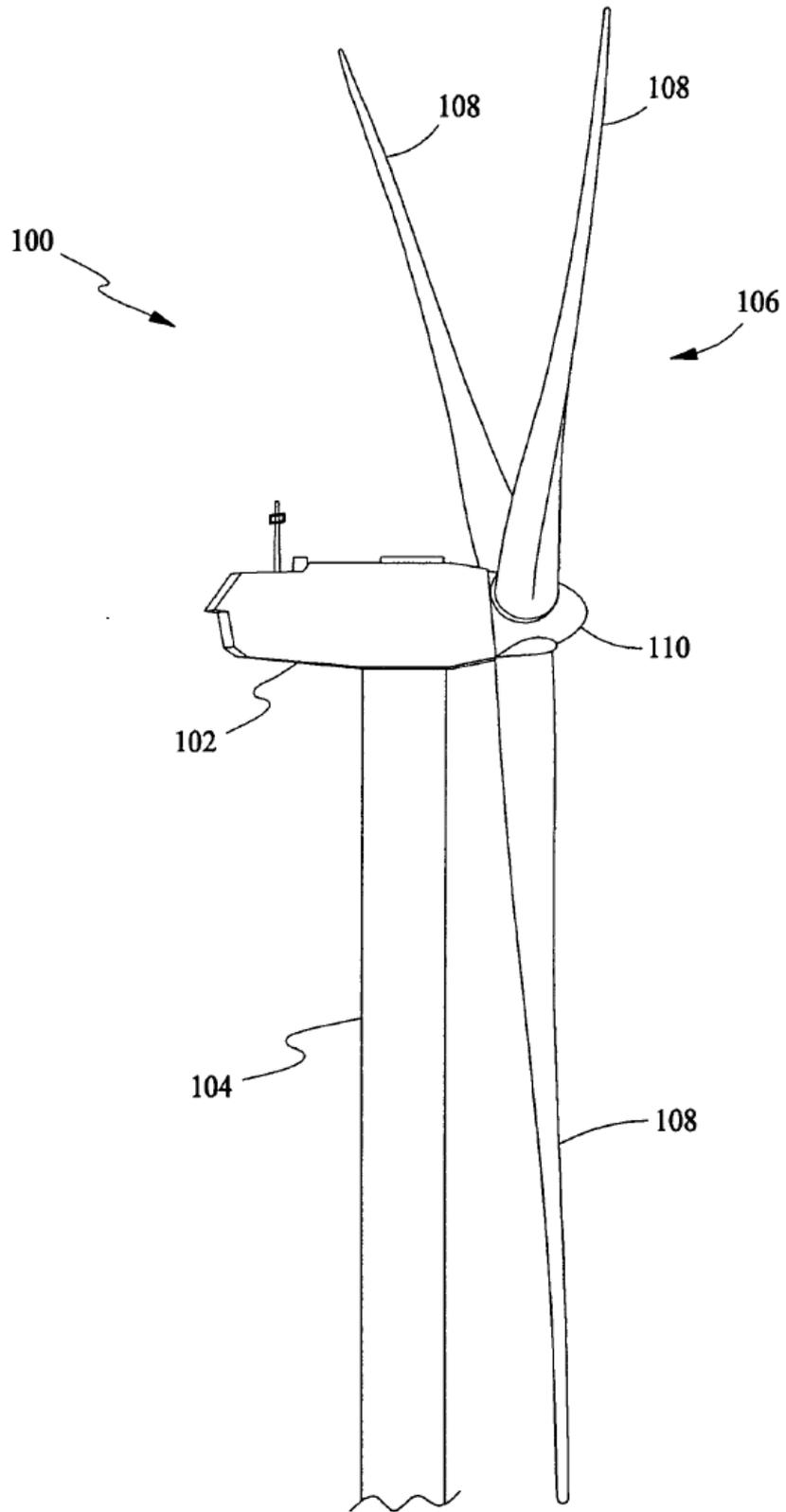


FIG. 1

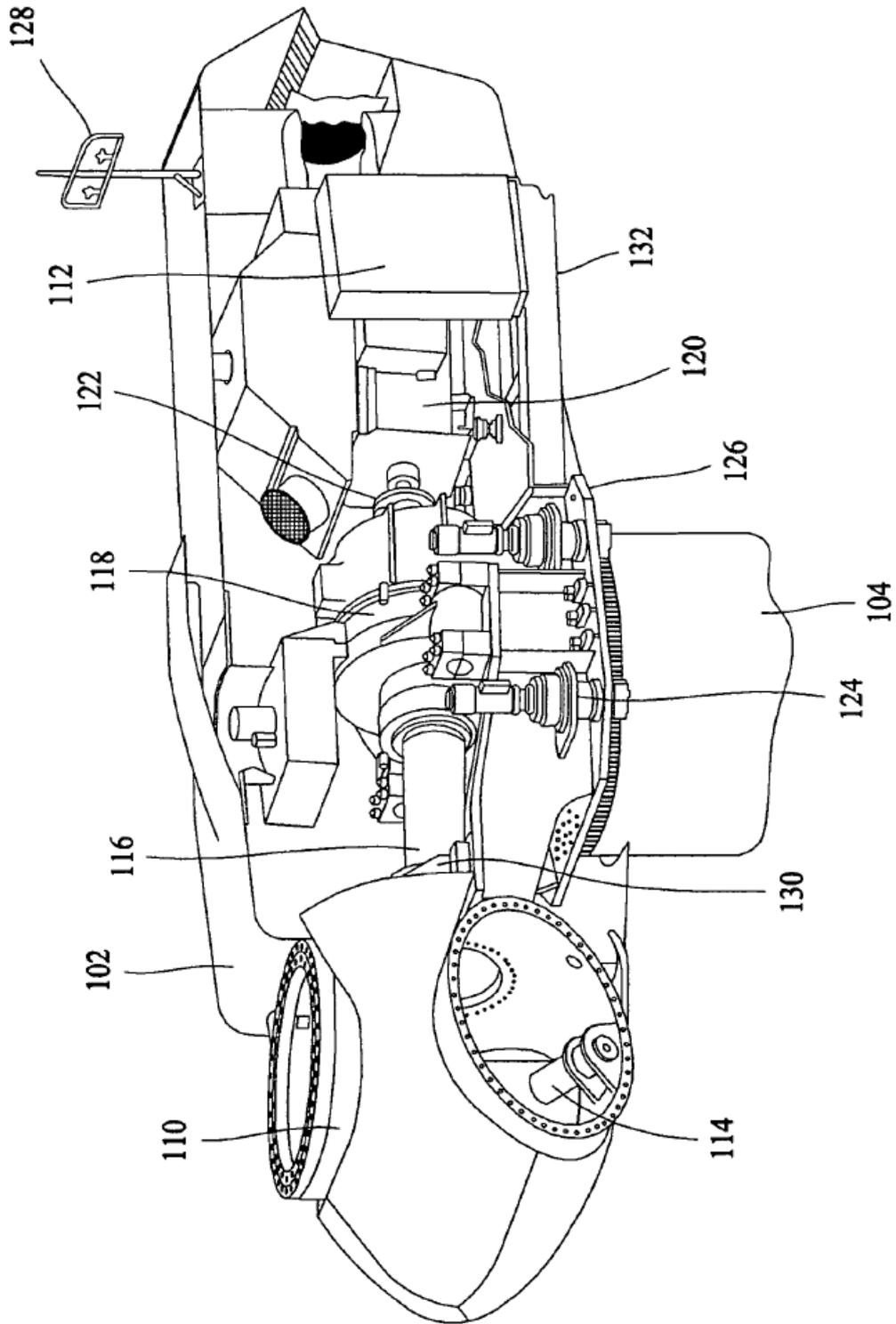


FIG. 2

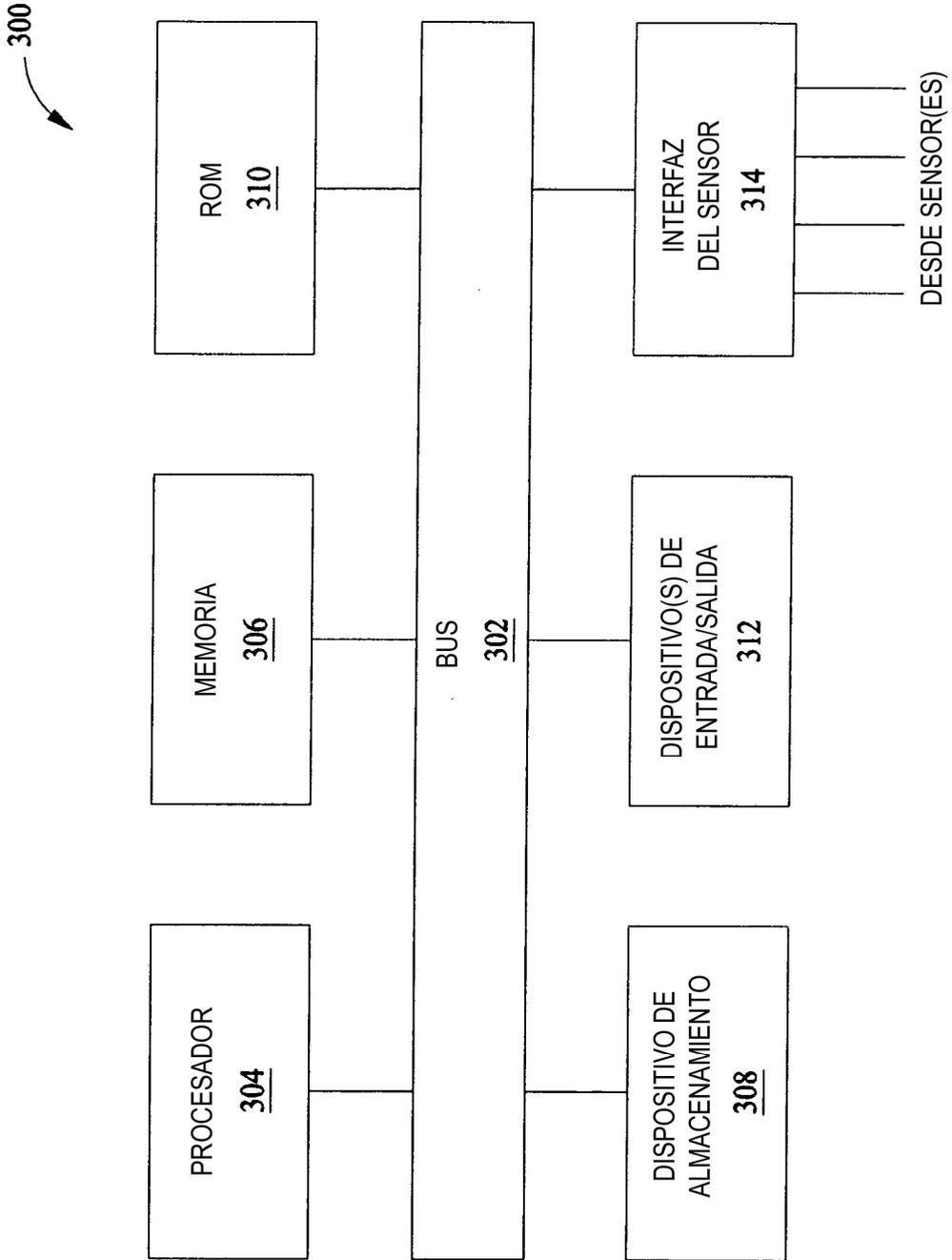


FIG. 3

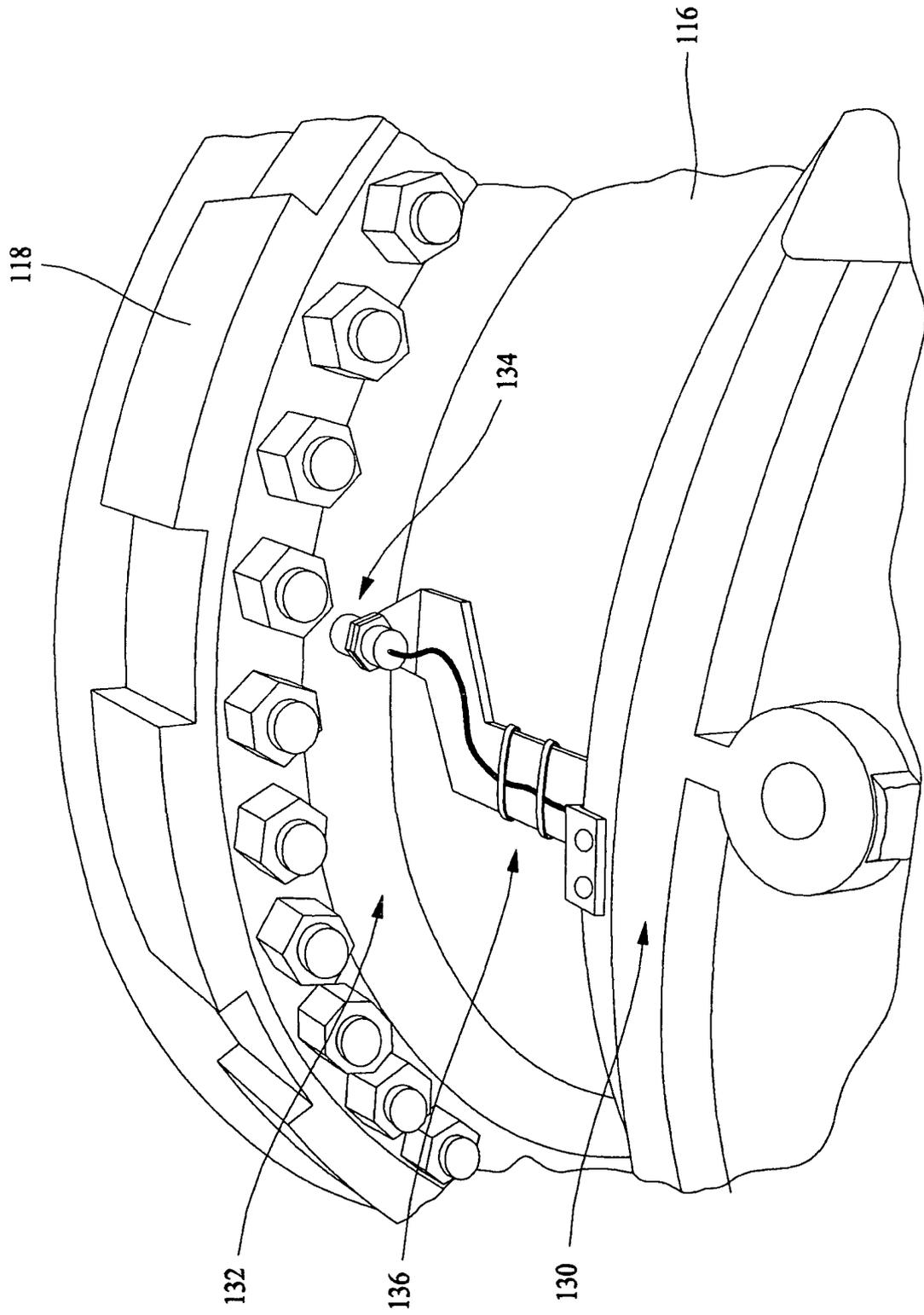


FIG. 4