

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 533**

51 Int. Cl.:

F03D 1/02 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2016 PCT/DK2016/050041**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016 WO16128004**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2016 E 16705024 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3256719**

54 Título: **Sistema de control para amortiguar las vibraciones estructurales de un sistema de aerogenerador que tiene múltiples rotores**

30 Prioridad:

12.02.2015 DK 201570081

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

08.02.2021

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BAUN, TORBEN LADEGAARD;
MIRANDA, ERIK CARL LEHNSKOV y
SLOTH, ERIK**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 804 533 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

Sistema de control para amortiguar las vibraciones estructurales de un sistema de aerogenerador que tiene múltiples rotores

Campo técnico

5 La invención se refiere a un sistema de control de un sistema de aerogenerador que tiene múltiples rotores y, más particularmente, pero no exclusivamente, a un sistema de control para amortiguar las vibraciones estructurales de un sistema de aerogenerador multirrotor.

Antecedentes de la invención

10 El tipo más común de aerogenerador es el aerogenerador de eje horizontal (HAWT) contra el viento de tres palas, en el que el rotor de la turbina está en la parte delantera de la góndola y que se enfrenta al viento ascendente de su torre de soporte de turbina.

Existen una serie de diseños alternativos de aerogenerador. Un ejemplo es el aerogenerador multirrotor de tipo agrupación.

15 El documento EP1483501B1 describe un aerogenerador de tipo agrupación multirrotor en la que se montan una pluralidad de rotores coplanarios en una estructura de soporte común. Tal configuración logra economías de escala que se pueden obtener con una turbina de rotor único muy grande, pero evita los inconvenientes asociados, tales como una gran masa de pala, componentes electrónicos de potencia escalada, etc. No obstante, aunque tal aerogenerador multirrotor coplanario tiene sus ventajas, presenta desafíos para implementar el concepto en la práctica, particularmente en cómo controlar los múltiples rotores para lograr una producción de potencia óptima y

20 cómo gestionar mejor los complejos modos de vibración generados en la estructura de soporte en virtud de los múltiples rotores.

El documento GB2443886 describe una disposición de aerogenerador que comprende una torre y al menos dos brazos que se proyectan hacia fuera de la misma. Un aerogenerador que se une a un extremo de cada brazo. Se describe un método de control que puede alinear las turbinas con la dirección del viento por medio del ajuste del

25 paso de pala.

El documento JP2005351087 describe un dispositivo de generación de energía eólica sobre el agua que suprime el balanceo y la vibración de una estructura flotante y las fluctuaciones de la eficiencia de generación de energía. El dispositivo generador de energía eólica sobre el agua está equipado con una estructura flotante y una pluralidad de generadores de energía eólica proporcionados a la estructura flotante. El dispositivo comprende además unos

30 medios de medición para medir los valores de los respectivos factores que causan el balanceo y la vibración en la estructura flotante, y unos medios de control para emitir una señal de control para amortiguar el balanceo y la vibración producidos en el conjunto de la estructura flotante sobre la base de los valores medidos respectivos.

Compendio de la invención

35 Es en este contexto que la invención proporciona un sistema de aerogenerador según la reivindicación 1 que comprende una pluralidad de aerogeneradores montados en una estructura de soporte que incluye una torre, en donde cada uno de la pluralidad de aerogeneradores incluye un rotor y un sistema de generación de energía accionado por el rotor, y al menos uno de los medios de ajuste de paso de pala del rotor y unos medios de control de potencia del generador. El sistema incluye además medios de control que reciben datos de vibración asociados con la estructura de soporte y que están configurados para determinar un comando de control de amortiguación para uno

40 respectivo de la pluralidad de aerogeneradores, en donde el o cada uno de los aerogeneradores incluye un controlador de amortiguación que recibe un comando de control de amortiguación y que es operable para aplicar una entrada de control de amortiguación a uno o a ambos de los medios de ajuste de paso de pala y los medios de control de potencia del generador para contrarrestar la vibración medida de la estructura de soporte.

45 Un beneficio de la invención es que la operación de las múltiples turbinas del sistema se usa para reducir los efectos de la vibración estructural amortiguando esa vibración de una manera activa.

Las realizaciones de la invención se pueden usar para implementar una amortiguación activa para contrarrestar la vibración en muchos modos diferentes. No obstante, en particular, uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar el sistema de generación con el fin de amortiguar la vibración lateral de la torre, en una

50 dirección que es transversal a la dirección del viento. De manera similar, uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar el paso de las palas colectivamente con el fin de amortiguar la vibración de la torre en una dirección sustancialmente en línea con la dirección del viento. Además, uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar el paso de las palas cíclicamente con el fin de amortiguar la vibración de la torre en una dirección que es transversal a la dirección del viento. Los planteamientos anteriormente mencionados se pueden combinar según sea apropiado para combatir modos de vibración complejos.

En la realización ilustrada, cada uno de la pluralidad de aerogeneradores está acoplado a la torre mediante un brazo de soporte de modo que el aerogenerador esté separado de la torre, y en donde uno o más de los aerogeneradores estén configurados para controlar la fuerza de orientación aplicada al brazo de soporte por su aerogenerador respectivo.

- 5 En una realización, la pluralidad de aerogeneradores se controlan en grupos, de manera que uno o más de los aerogeneradores en un primer grupo colocado en un lado de la torre se controlan para generar una fuerza a lo largo de sus ejes de rotor respectivos y en donde uno o más de los aerogeneradores en un segundo grupo colocado en el otro lado de la torre del primer grupo se controlan para generar una fuerza a lo largo de sus ejes respectivos que es menor u opuesta a la fuerza correspondiente generada por los aerogeneradores en el primer grupo. Esto da como resultado que los aerogeneradores se orienten alrededor de la torre usando el empuje diferencial de las turbinas en lados opuestos de la torre.

- 10 El sistema puede incluir medios de detección de vibración situados en la estructura de soporte para detectar las vibraciones de la misma, los medios de vibración que están configurados para proporcionar datos de vibración a los medios de control. Los medios de detección de vibración incluyen al menos uno de un conjunto de uno o más acelerómetros y un conjunto de uno o más sensores de carga aplicados en lugares apropiados en la estructura de soporte para medir los modos de vibración con precisión.

En un aspecto adicional, se proporciona un método de un sistema de aerogenerador según el primer aspecto de la invención.

- 20 Se apreciará que las características preferidas y/u opcionales del primer aspecto de la invención se pueden incorporar solas o también en una combinación apropiada en el segundo aspecto de la invención.

Breve descripción de los dibujos

De modo que se pueda comprender más plenamente, la invención se describirá ahora a modo de ejemplo solamente en los siguientes dibujos, en los que:

- La Figura 1 es una vista frontal de un sistema de aerogenerador multirrotor o 'instalación';
- 25 La Figura 2 es una vista superior del sistema de aerogenerador multirrotor en la Figura 1, que también muestra modos oscilatorios de la instalación de aerogenerador;
- La Figura 3 es una vista esquemática de una realización de un sistema de control central para la instalación de aerogeneradores multirrotor de las Figuras 1 y 2;
- 30 La Figura 4 es una vista más detallada de un sistema de control local de uno de los aerogeneradores del sistema multirrotor de la Figura 3; y
- La Figura 5 es una vista esquemática de una función de control del sistema de control central de la Figura 3.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

- 35 Con referencia a las Figuras 1 y 2, una instalación de aerogenerador o 'sistema' 2 incluye una torre 4 en la que está montada una pluralidad de aerogeneradores 6 o módulos de aerogenerador 6. Todo el sistema de aerogenerador 2 está soportado sobre una base 8, como es habitual. Obsérvese que el término 'aerogenerador' se usa aquí en el sentido aceptado por la industria para referirse principalmente a los componentes de generación de la instalación de aerogenerador y en la medida que están separados de la torre 4. Obsérvese que la base puede ser una gran masa enterrada, como se muestra en este caso, o en forma de estructuras monopolo o de tipo 'chaqueta' en instalaciones mar adentro.

- 40 En esta realización hay cuatro aerogeneradores 6, y estos están montados en la torre 4 en dos parejas, cada pareja que incluye dos aerogeneradores 6 que se montan en la torre 4 mediante una disposición de brazo de soporte 10.

- 45 La disposición de brazo de soporte 10 comprende una parte de montaje 12 y un primer y segundo brazos 14 que se extienden desde la parte de montaje y portan un aerogenerador 6 respectivo. Por tanto, cada uno de los brazos de soporte 13 incluye un extremo interno 16 conectado a la parte de montaje 12 y un extremo externo 18 que está conectado a un aerogenerador 6.

- 50 La disposición de brazo de soporte 10 está montada en la torre 4 en la parte de montaje 12 de modo que la disposición de brazo de soporte 10 sea capaz de orientarse alrededor del eje vertical de la torre 4. Se proporciona un engranaje de orientación adecuado (no mostrado) para este propósito. Este movimiento proporciona un primer grado de libertad para el aerogenerador 6 con respecto a la torre 4, como se muestra en la Figura 2 como 'F1'. Se puede hacer referencia a esta disposición como disposición de orientación central. Aunque esta realización incluye engranaje de orientación, se prevén otras realizaciones en las que las disposiciones de brazo de soporte 10 no se orientan con relación a la torre 4. En una realización, también se pueden proporcionar unidades de orientación para las turbinas individuales con el fin de orientar cada módulo de aerogenerador como se indica por F2 en la figura.

Juntos, la torre 4 y la disposición de brazo de soporte 10 se pueden considerar que son una estructura de soporte para cada uno de los aerogeneradores 6.

5 Cada aerogenerador 6 incluye un rotor 22 que está montado de manera giratoria en una góndola 23 de la manera habitual. El rotor 22 tiene un conjunto de tres palas 24 en esta realización. Los rotores de tres palas son una configuración de rotor común, pero también se pueden usar diferentes números de palas. De este modo, cada uno de los aerogeneradores 6 es capaz de generar energía a partir del flujo de viento que pasa a través del área de barrido o 'disco de rotor' 26.

10 Durante la operación, la torre 4 puede estar expuesta a una serie de fuerzas que hacen que oscile (también es de fuentes externas). Con referencia a la Figura 2, se puede ver que la torre 4 es capaz de balancearse hacia delante y hacia atrás, y también de lado a lado, dando lugar por ello a múltiples modos de oscilación, incluidos los modos M1 y M2 respectivamente. La torre 4 también puede experimentar excitación torsional, debido a la acción del viento, pero también debido a cualquier desequilibrio de empuje entre los individuales de los aerogeneradores 6, lo que da lugar a otro modo de oscilación, mostrado como M3, y, además, cada uno de los brazos de soporte pueden oscilar en la dirección horizontal (perpendicular al plano del papel) y también verticalmente. La oscilación de la estructura de soporte conduce a fatiga que puede afectar a la vida útil de la instalación en su conjunto. La invención proporciona una solución a esto, ya que los aerogeneradores 6 están controlados para contrarrestar las oscilaciones experimentadas por la instalación, proporcionando en efecto una amortiguación activa al sistema oscilatorio.

Se describirán ahora con más detalle realizaciones de tal amortiguación activa.

20 Las Figuras 1 y 2 muestran los principales componentes estructurales del sistema de aerogenerador 2, aunque un experto en la técnica entendería que la realización ilustrada ha sido simplificada con el fin de no oscurecer la invención con detalles innecesarios. Se proporcionará ahora una explicación adicional sobre los componentes de sistema del sistema de aerogenerador 2 con referencia también a la Figura 3.

25 A nivel de sistemas, cada aerogenerador 6 puede incluir una caja de cambios 30 que está accionada por el rotor 22, y un sistema de generación de energía 31 que incluye un generador 32 conectado a la caja de cambios 30 y que alimenta la energía generada a un sistema convertidor 34. También se proporciona un sistema de control de paso 36 para controlar el ángulo de ataque de las palas en relación al viento. La configuración precisa del generador 32 y del sistema convertidor 34 no es central para la invención y no se describirá en detalle aquí. No obstante, para los propósitos actuales, se puede considerar que es convencional y, en una realización, se puede basar en una arquitectura de convertidor a escala completa (FSC) o en una arquitectura de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). Además, cada uno de los aerogeneradores se puede considerar sustancialmente idéntico, así que solamente uno se ha etiquetado completamente en la Figura 3 por claridad. No obstante, se debería observar que se prevén realizaciones en las que los aerogeneradores no sean idénticos entre sí.

35 En la realización ilustrada, la salida de potencia del convertidor 34 de cada aerogenerador 6 se alimenta a una unidad de distribución 40 que tiene una función de recibir entradas de potencia 42 desde los aerogeneradores 6 a través de cableado 44 adecuado para la transmisión hacia adelante a una carga 46, que se muestra en este caso como la red eléctrica. Aunque no se muestra en este caso, se debería apreciar que la unidad de distribución 40 se puede situar en cualquier posición adecuada, por ejemplo, dentro de la torre 4. Los expertos en la técnica serían conscientes de que existen diferentes opciones de conversión y transmisión de potencia, y estaría dentro de las capacidades de los expertos especificar un sistema adecuado. De este modo, este aspecto no se describe con más detalle en este caso.

40 Se debería observar en este punto que solamente se describe en este caso un único sistema de aerogenerador 2, pero que se pueden agrupar juntas varias de tales instalaciones para formar una central de energía eólica, a la que también se hace referencia como parque eólico o 'parque'. En este caso, se proporcionaría una instalación de control y distribución de la planta eólica (no mostrada) para coordinar y distribuir las salidas de potencia de los sistemas de aerogenerador individuales a la red eléctrica más amplia.

45 Dado que el sistema de aerogenerador 2 incluye una pluralidad de aerogeneradores 6, cada uno de los cuales es operable para generar energía eléctrica a medida que el rotor 22 se acciona por el viento, el sistema de aerogenerador 2 incluye medios de control localizados 49 que son operables para monitorizar la operación de los respectivos de la pluralidad de aerogeneradores 6 y para emitir comandos a los mismos para lograr un conjunto de objetivos de control local. En esta realización, los medios de control localizados 49 se proporcionan en forma de una pluralidad de módulos de control local 50 que se incorporan como dispositivos informáticos respectivos, cada uno de los cuales está dedicado a un aerogenerador 6 asociado. Un tal objetivo de control es monitorizar la velocidad del rotor y la salida de potencia y controlar el sistema de control de paso 36 y el generador 32 en línea con una curva de relación de potencia-velocidad almacenada localmente que es específica para ese aerogenerador 6 particular con el fin de asegurar que se extraiga la máxima potencia del viento durante las condiciones de operación por debajo y por encima de la nominal, como se explicará con más detalle más adelante.

Aunque cada uno de los aerogeneradores 6 incluye un módulo de control local 50, el sistema de aerogenerador 2 también incluye unos medios de control centralizados 51 que sirven a una función de supervisión con el fin de

proporcionar una estrategia de control coordinada. En esta realización, los medios de control centralizados 51 se proporcionan mediante un módulo de control central 52 que es un dispositivo informático incorporado en la unidad de distribución 40. En este caso, el módulo de control central 52 está situado en la torre 4, aunque se prevé que otras ubicaciones serían aceptables. Como se explicará, el módulo de control central 52 está configurado para monitorizar la operación del sistema de energía eólica 2, es decir, los aerogeneradores 6 y la torre 4, y para proporcionar comandos de control centralizado a la pluralidad de aerogeneradores 6 con el fin de lograr un objetivo de control de supervisión.

Control de aerogenerador local

Como es sabido, los aerogeneradores de velocidad variable operan típicamente bajo dos estrategias de control principales: potencia por debajo de la nominal y potencia por encima de la nominal, aunque son conocidas otras estrategias operacionales. El término 'potencia nominal' se usa en este caso en su sentido aceptado que significa la salida de potencia a la cual el sistema de aerogenerador está calificado o certificado para funcionar bajo una operación continua. De manera similar, el uso del término 'velocidad nominal del viento' se debería entender que significa la velocidad del viento más baja a la que se produce la potencia nominal de un aerogenerador.

Una potencia nominal por debajo ocurre a velocidades del viento entre la velocidad de corte y la velocidad nominal del viento que, típicamente, está entre 10 m/s y 17 m/s. En esta región de operación, el módulo de control local 50 es operable para controlar la velocidad del rotor para maximizar la energía capturada desde el viento. Esto se logra controlando la velocidad del rotor de modo que la relación de velocidad de la punta esté en un valor óptimo, esto es, entre 6 y 7. Para controlar la velocidad del rotor, el módulo de control local 50 está dotado con la instalación de controlar el par del generador para seguir una referencia de potencia ordenada, como se describirá.

Una potencia nominal por encima ocurre cuando la velocidad del viento ha aumentado hasta, o ha excedido, la velocidad nominal del viento. En esta condición de operación, el objetivo del módulo de control local 50 es mantener una potencia de salida constante. Esto se logra controlando que el par del generador, o la potencia, sea sustancialmente constante, pero variando el ángulo de paso de las palas que ajusta las fuerzas de arrastre y sustentación resultantes en el plano del rotor. Esto transferirá el par negativo al eje del rotor, asegurando por ello que la velocidad de rotación o el par se mantengan por debajo de un umbral establecido.

La Figura 4 proporciona una vista más detallada de uno de los aerogeneradores 6, y en particular del módulo de control local 50. Con el fin de lograr los objetivos de control de potencia por debajo de la nominal y de potencia por encima de la nominal, el módulo de control local 50 incluye un controlador de velocidad 54 que es operable para controlar el sistema de convertidor 34 para influir en el par ejercido sobre el rotor 22 por el generador 32, y también para controlar el paso de las palas 24 a través del sistema de control de paso 36.

El controlador de velocidad 54 recibe una pluralidad de entradas de control, pero se muestran específicamente en este caso dos parámetros de entrada: un parámetro de entrada de velocidad del rotor 60 que se proporciona por unos medios de detección de velocidad del rotor adecuados (no mostrados), y un parámetro de entrada de potencia demandada 62 o 'referencia de potencia' que se proporciona por un controlador de nivel más alto, por ejemplo, el módulo de control central 52 del sistema de aerogenerador 2.

El controlador de velocidad 54 es operable para controlar el par del generador emitiendo una señal de par demandado T_{DEM} al sistema convertidor 34 durante una condición de operación de potencia por debajo de la nominal con el fin de minimizar el error entre el parámetro de entrada de velocidad del rotor 60 y la referencia de potencia 62 y, de este modo, para llevar la potencia generada a coincidir con la referencia de potencia 62. De manera similar, en condiciones de operación de potencia por encima de la nominal, el controlador de velocidad 54 es operable para mantener constante el par del generador, pero para proporcionar una entrada de control al sistema de control de paso 36 para modular, colectivamente, los ángulos de paso de las tres palas 24 del rotor 22. El sistema de control de paso 36 recibe la entrada de control del controlador de velocidad 54, mostrada en este caso como P_{COLL_DEM} y convierte esta en un valor de ajuste del ángulo de paso para cada una de las palas 24. Los valores de ajuste del ángulo de paso se muestran en este caso como P_{ADJ_1} , P_{ADJ_2} y P_{ADJ_3} que representan valores para un rotor de tres palas. Estas entradas de control se alimentan a actuadores de paso 65 que controlan el paso para las respectivas palas 22.

En este punto, se debería observar que, aunque el sistema de control de paso 36 se ha descrito en este caso como que implementa ajustes de paso individuales para todas las palas, en otras realizaciones puede ser el caso de que solamente se envíe una única señal de ajuste de paso que solamente sea capaz para variar el paso de pala colectivamente.

Aunque solamente se describe en la Figura 3 uno de los aerogeneradores 6, se debería apreciar que cada uno de los aerogeneradores 6 se puede considerar idéntico para los propósitos de esta discusión.

Como se apreciará a partir de la discusión anterior, cada aerogenerador 6 está dotado con una instalación para controlar la velocidad del rotor durante un amplio intervalo de velocidades del viento con el fin de optimizar la generación de energía del sistema. No obstante, como se explicará, la función de control de velocidad del aerogenerador 6 se puede usar para controlar las fuerzas ejercidas sobre la disposición de brazo de soporte 10 y la

torre 4 por los aerogeneradores 6, actuando por ello como unos medios de reducción de la oscilación de esas estructuras.

5 Con este fin, el módulo de control local 50 incluye un controlador de amortiguación 64 que coopera con el controlador de velocidad 52, como se explicará, con el fin de aplicar fuerzas en el rotor 22 a través del sistema generador 32 y del sistema de control de paso de pala 34 con el fin de contrarrestar la oscilación de la torre.

10 La función de amortiguación se puede dividir entre el módulo de control central 52, que monitoriza la estructura de soporte a través de un conjunto de sensores adecuados y determina las entradas de amortiguación que se requieren para contrarrestar el movimiento de la estructura de soporte, y los módulos de control local 50. Los módulos de control local 50 reciben los comandos de control del módulo de control central 52 y convierten los comandos de amortiguación en entradas específicas de control de paso y de control de par.

Antes de describir cómo el módulo de control central determina los comandos de amortiguación requeridos, en primer lugar, se describirá cómo se implementan los comandos de amortiguación a nivel local dentro de un aerogenerador 6.

Control de excitación en aerogeneradores

15 Como se puede ver en la Figura 4, el controlador de amortiguación 64 incluye tres módulos principales, que son un módulo de amortiguación de par de movimiento lateral 66, un módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 y un módulo de amortiguación de paso de movimiento axial 70. El controlador de amortiguación 64 también incluye un módulo de supervisión 72 que controla la activación de cada uno de los módulos 66, 68, 70 mencionados anteriormente. Se debería observar en este punto que el módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 no sería necesario en una realización en la que el aerogenerador esté configurado para hacer ajustes de paso colectivos solamente.

20 En este punto, se debería observar que, aunque los módulos 66, 68, 70 hayan sido descritos como que están separados, esto no se pretende que confiera una estructura física particular sobre los módulos. Por ejemplo, los módulos pueden ser unidades de microprogramas separadas o pueden ser unidades de software funcional individuales implementadas sobre una plataforma de procesamiento común. También se debería observar que, aunque los módulos 66, 68, 70 se pueden operar simultáneamente, también puede ser apropiado para ellos que sean operados por separado. Por ejemplo, el módulo de amortiguación de par de movimiento lateral 66 tiende a ser más efectivo cuando se opera en condiciones de carga parcial, es decir, a una potencia por debajo de la nominal, mientras que el módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 y el módulo de amortiguación de paso de movimiento axial 70 tienden a ser más efectivos cuando se operan en condiciones de carga completa, es decir, a la potencia nominal o por encima.

25 El módulo de amortiguación de par de movimiento lateral 66 recibe una señal de entrada de amortiguación lateral 74 que le se proporciona desde el módulo de control central 52, como se explicará más adelante. En respuesta a la señal de entrada 74, el módulo de amortiguación de par de movimiento lateral 66 es operable para emitir una señal de desplazamiento de par $T_{\text{DESPLAZAMIENTO}}$ que sirve para modular la salida del controlador de velocidad 54 en el cruce sumador 76. La señal modulada se proporciona al sistema de convertidor 34, a través de una señal de par generada T_{GEN} , a la que también se puede hacer referencia como señal de referencia de potencia modulada, que controla el generador 32 en consecuencia. Las referencias en la presente memoria al 'control de potencia' del generador se pueden considerar, por lo tanto, sinónimas de control de par.

30 El módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 y el módulo de amortiguación de paso de movimiento axial 70 en esta realización son operables durante las condiciones de operación de potencia por encima de la nominal y complementan la funcionalidad del controlador de velocidad 54 para amortiguar un modo oscilatorio diferente de la torre. Ambos de estos módulos de amortiguación 66, 68 operan juntos a través del sistema de control de paso 36 para controlar el paso de las palas, como se explicará ahora.

35 El módulo de amortiguación de movimiento axial 70 funciona para amortiguar las oscilaciones de la torre en una dirección en línea con el eje del rotor; es decir, el modo oscilatorio 'de proa a popa' de la torre, que se ilustra como M1 en la Figura 2. Con el fin de hacer esto, el módulo 70 recibe una señal de amortiguación axial 78 desde el módulo de control central 52.

40 Con más detalle, el módulo de amortiguación de movimiento axial 70 calcula el cambio de paso colectivo que se requiere para hacer que el rotor aplique una fuerza a la góndola que es contraria al movimiento de proa a popa. De este modo, el módulo 70 emite una compensación de paso colectiva que modula la señal P_{COLL} de demanda de paso colectiva que se emite por el controlador de velocidad 22 en el cruce sumador 60. La demanda de paso colectiva modulada $P_{\text{COLL_DEM}}$ se proporciona entonces al sistema de control de paso 36.

45 Por el contrario, el módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 funciona para amortiguar las oscilaciones de la torre en una dirección que es transversal al eje del rotor; es decir, el movimiento 'de lado a lado' de la torre, que se ilustra mediante el segundo modo M2 en la Figura 2. Para hacer esto, recibe como entrada la señal de amortiguación lateral 74 desde el módulo de control central 52 que también proporciona datos al módulo de

amortiguación de par de movimiento lateral 66, y entonces calcula los ajustes de paso necesarios para cada una de las palas individualmente, y sobre una base cíclica, da como resultado que el rotor aplique una fuerza lateral que es contraria al movimiento lateral de la torre. El módulo 68 emite tres valores de desplazamiento de paso separados como señales de comando separadas que se muestran en este caso como $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_1}$, $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_2}$ y $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_3}$. Estas señales de comando se alimentan entonces al sistema de control de paso 36.

Como se apreciará ahora a partir de la discusión anterior, el sistema de control de paso 36 recibe la demanda de paso colectiva modulada $P_{\text{COLL_DEM}}$ desde el controlador de velocidad 54 y también recibe los tres valores de desplazamiento de paso $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_1}$, $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_2}$ y $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_3}$ del módulo de amortiguación de movimiento lateral 68. El sistema de control de paso 36 combina las señales anteriormente mencionadas y emite tres señales separadas a los actuadores de paso 65, con el fin de ajustar los ángulos de paso de cada una de las palas. Los valores de ángulo de ajuste de paso P_{ADJ_1} , P_{ADJ_2} y P_{ADJ_3} , como se ha mencionado anteriormente, por lo tanto, se modulan por el sistema de control de paso 36 para tener en cuenta los valores de desplazamiento $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_1}$, $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_2}$ y $P_{\text{DESPLAZAMIENTO}_3}$ del módulo de ajuste de paso de movimiento lateral 66. Por lo tanto, el sistema de actuación de paso 36 controla las palas del aerogenerador 6 según los ajustes determinados por el controlador de amortiguación 64.

La discusión anterior ha explicado la funcionalidad del controlador de amortiguación 40 para modular la demanda de par al generador y también el paso de las palas con el fin de generar fuerzas axiales y laterales. Por lo tanto, se apreciará que los controladores de amortiguación 40 en los respectivos de los aerogeneradores 6 se pueden controlar para lograr diversos efectos. Por ejemplo, los controladores de amortiguación de los aerogeneradores se podrían controlar para generar y forma axial en la torre que contrarreste el balanceo de la torre, reduciendo por ello la tensión en la torre. También, los controladores de amortiguación se podrían controlar para generar torsión en las unidades de orientación 12 donde los brazos de soporte 14 se montan en la torre 4, es decir, los aerogeneradores en el lado derecho de la torre se podrían controlar para generar una fuerza axial en una dirección, y los aerogeneradores en el lado izquierdo de la torre 4 se podrían controlar para generar una fuerza axial en la dirección opuesta. Esto se podría usar para ayudar a la orientación de los brazos de soporte alrededor de la torre.

Control central de amortiguación activa

La discusión anterior se ha centrado en cómo los aerogeneradores 6 individuales se controlan mediante los respectivos módulos de control local 50 y, más específicamente, los controladores de amortiguación 54, para ejercer fuerzas axiales y laterales que se pueden usar para contrarrestar los modos de oscilación de los aerogeneradores 6 y de la torre 4. Es responsabilidad del módulo de control central 52 monitorizar el movimiento de la torre 4 y de la disposición de brazo de soporte 10 y determinar qué entradas de amortiguación se requieren en cada uno de los aerogeneradores 6 con el fin de contrarrestar las oscilaciones detectadas.

La Figura 5 ilustra una realización del módulo de control central 52 que es operable para monitorizar las oscilaciones de la torre y proporcionar comandos de control de amortiguación adecuados a los aerogeneradores individuales.

El módulo de control central (CCM) 52 incluye un módulo de determinación de forma de modo 80 que recibe en una interfaz I/O 82 entradas de datos con relación a las oscilaciones de la torre 4. Por ejemplo, la torre se puede equipar con medios de detección de vibración en la forma de diversos sistemas de sensores que están configurados para medir la amplitud y la frecuencia de vibración de la torre. Los sistemas de sensores podrían comprender, por ejemplo, un conjunto de uno o más acelerómetros situados en puntos adecuados sobre la estructura de la torre, o un conjunto de uno o más sensores de carga (por ejemplo, tipo medidor de deformación electrónico o basado en óptica) que miden directamente las desviaciones. Está dentro de las capacidades de los expertos seleccionar el sensor apropiado para la tarea de detección de vibración en cuestión.

El módulo de determinación de forma de modo 80 procesa los datos para determinar la amplitud y frecuencia de las formas de modo M1, M2 y M3 como se muestra en la Figura 2. Se apreciará que pueden existir otros modos de vibración más complejos, pero que esta descripción se ha simplificado por facilidad de comprensión.

Una vez que se han determinado la amplitud y frecuencia de la oscilación en las formas de modo predeterminadas, el módulo de determinación de forma de modo 80 pasa la información a los respectivos módulos de compensación de forma de modo 84, 86, 88, que comprenden un módulo para cada una de las formas de modo M1, M2 y M3 conocidas.

Los módulos de compensación de forma de modo 84, 86, 88 entonces pasan los datos a los módulos de comando de amortiguación. En este caso, hay dos grupos de módulos de comando de amortiguación. Un primer conjunto de módulos de comando de amortiguación 90a-90d recibe entradas de datos del módulo de compensación de forma de modo M1 y del módulo de compensación de forma de modo M3, mientras que un segundo grupo de módulos de comando de amortiguación 92a-92d reciben entrada de datos del módulo de compensación de forma de modo M2 y 88.

El primer grupo de módulos de comando de amortiguación 90a-90d es operable para recibir datos con relación a la frecuencia y amplitud de las oscilaciones en las formas de modo M1 y M3, es decir, el balanceo axial del aerogenerador, así como la forma en que la torre 4 se orienta alrededor de su eje, y para determinar los primeros

comandos de control de amortiguación 74 apropiados para enviar a cada uno de los aerogeneradores 6 como la señal de entrada 74. Como se ha mencionado anteriormente, el primer comando de control de amortiguación 74 se recibe por el módulo de amortiguación de paso de movimiento axial 70 del controlador de amortiguación en cada módulo de control local 50 respectivo que hace que los cambios de ángulo de paso se hagan colectivamente en el sistema de control de paso 36.

El segundo grupo de módulos de comando de amortiguación 92a-92b es operable para recibir datos con relación a la frecuencia y amplitud de las oscilaciones en la forma de modo M2, es decir, el movimiento de lado a lado de la torre 4 y para determinar los segundos comandos de control de amortiguación apropiados para enviar a cada uno de los aerogeneradores 6 como la señal de entrada 78. Como se ha tratado anteriormente, el segundo comando de control de amortiguación se recibe por el módulo de amortiguación de par de movimiento lateral 66 y el módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 en cada uno de los módulos de control local 50. El módulo de amortiguación de par de movimiento lateral 66 entonces hace ajustes adecuados a la demanda de par que se proporciona en el sistema de convertidor 34 y el módulo de amortiguación de paso de movimiento lateral 68 hace ajustes cíclicos necesarios al paso de pala con el fin de generar fuerzas laterales adecuadas en los aerogeneradores 6 para contrarrestar las oscilaciones medidas.

El proceso descrito anteriormente se propone que sea un proceso continuo en el que las vibraciones de la estructura de soporte se monitoricen constantemente y se tomen medidas adecuadas de control de amortiguación activa por los aerogeneradores 6 individuales para reducir las vibraciones. No obstante, se debería observar que se pueden poner en su lugar umbrales apropiados que se desencadenarán si las oscilaciones son demasiado grandes que la amortiguación sea inadecuada a las vibraciones a un nivel aceptable, y/o que las vibraciones hayan estado en un nivel demasiado largo un periodo de tiempo. En tales circunstancias, el desencadenamiento de los umbrales puede hacer que la velocidad del uno o más de los aerogeneradores se varíe o que los aerogeneradores se puedan apagar. Esto puede ocurrir en situaciones de vientos fuertes, por ejemplo. También se podrían implementar umbrales apropiados para asegurar que la amortiguación no se realice en circunstancias en las que la oscilación de la estructura no sea lo suficientemente alta como para requerir amortiguación.

Los expertos apreciarán que se pueden hacer modificaciones a las realizaciones específicas descritas anteriormente sin apartarse del concepto inventivo como se define por las reivindicaciones.

Por ejemplo, aunque en la realización de la Figura 3 las unidades de control local 50 se muestran como que están situadas dentro de las góndolas 23 de los aerogeneradores 6, este no necesita ser el caso, y se prevén realizaciones en las que las unidades de control locales están montadas en diferentes ubicaciones, por ejemplo, en los brazos de soporte 13 cerca de la estructura de soporte 4. Esto puede proporcionar las unidades de control locales 50 en una posición más conveniente para el acceso de mantenimiento.

Un modelo de correlaciones estructurales se implementa en el controlador local, el controlador central o de una manera distribuida. El modelo estructural es un modelo dinámico que tiene en cuenta que una actuación en un módulo de aerogenerador puede tener un efecto en otros módulos de aerogenerador dado que los módulos de aerogenerador están acoplados a través de la estructura de soporte.

En una realización, un comando de control de amortiguación para un aerogenerador tiene en cuenta al menos un comando de control de amortiguación para otro aerogenerador. La correlación entre el comando de amortiguación de un aerogenerador con cualquier otro aerogenerador se puede definir por el modelo estructural.

Como ejemplo, la amortiguación de las vibraciones de una pareja inferior de aerogeneradores puede inducir vibraciones de una pareja superior de aerogeneradores. Esto se puede evitar también generando comandos de amortiguación para la pareja superior de aerogeneradores en base a una correlación esperada definida por el modelo estructural.

También, se debería apreciar que, aunque la realización ilustrada incluye cuatro aerogeneradores montadas en la estructura de soporte, el sistema de amortiguación activa de la invención se puede aplicar a sistemas de aerogeneradores con más de cuatro aerogeneradores. Además, se prevén realizaciones en las que los aerogeneradores no están emparejados en grupos de dos, como en la realización ilustrada, sino que están dispuestos de manera diferente y que no tienen necesariamente una relación coplanar.

En el sistema de aerogenerador 2 anterior, la unidad de control central 52 es operable para determinar la frecuencia y amplitud de las vibraciones en la primera, segunda y tercera formas de modo. Se debería observar que estas formas de modo se han usado en este caso solamente a modo de ejemplo, y que pueden existir otras formas de modo quizás más complejas. Por consiguiente, el módulo de control central 52 también se puede adaptar para calcular la compensación necesaria para contrarrestar las vibraciones medidas en estas formas de modo más complejas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de aerogenerador (2) que comprende:

5 una pluralidad de aerogeneradores (6) montados en una estructura de soporte (4) que incluye una torre, en donde cada uno de la pluralidad de aerogeneradores incluye un rotor (22) y un sistema de generación de energía (31) accionado por el rotor, y al menos uno de unos medios de ajuste de paso de pala del rotor y unos medios de control de potencia del generador;

medios de control (50) que reciben datos de vibración (74, 78) asociados con la estructura de soporte y que están configurados para determinar un comando de control de amortiguación para uno respectivo de la pluralidad de aerogeneradores;

10 en donde el y cada uno de los aerogeneradores incluyen un controlador de amortiguación (64) que recibe un comando de control de amortiguación y que es operable para aplicar una entrada de control de amortiguación a uno o a ambos de los medios de ajuste de paso de pala y los medios de control de potencia del generador para contrarrestar la vibración medida de la estructura de soporte

15 caracterizada por que el controlador de amortiguación tiene en cuenta las correlaciones estructurales entre los aerogeneradores en la entrada de control de amortiguación, las correlaciones estructurales que se definen mediante un modelo dinámico del sistema de aerogeneradores.

2. El sistema de aerogenerador de la reivindicación 1, en donde uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar el sistema de generación con el fin de amortiguar la vibración lateral de la torre, en una dirección que es transversal a la dirección del viento.

20 3. El sistema de aerogenerador de las reivindicaciones 1 y 2, en donde uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar el paso de las palas colectivamente con el fin de amortiguar la vibración de la torre en una dirección sustancialmente en línea con la dirección del viento.

25 4. El sistema de aerogenerador de las reivindicaciones 1 a 3, en donde uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar el paso de las palas cíclicamente con el fin de amortiguar la vibración de la torre en una dirección que es transversal a la dirección del viento.

5. El sistema de aerogenerador de las reivindicaciones 1 a 4, en donde cada uno de la pluralidad de aerogeneradores está acoplado a la torre mediante un brazo de soporte (10, 14) de modo que el aerogenerador esté separado de la torre, y en donde uno o más de los aerogeneradores están configurados para controlar la fuerza de orientación aplicada al brazo de soporte por su respectivo aerogenerador.

30 6. El sistema de aerogenerador de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la pluralidad de aerogeneradores se controlan en grupos, de manera que uno o más de los aerogeneradores en un primer grupo colocado en un lado de la torre se controlan para generar una fuerza a lo largo sus respectivos ejes de rotor y en donde uno o más de los aerogeneradores en un segundo grupo colocados en el otro lado de la torre del primer grupo se controlan para generar una fuerza a lo largo de sus respectivos ejes que es menor u opuesta a la fuerza correspondiente generada por los aerogeneradores en el primer grupo.

35 7. El sistema de aerogenerador de las reivindicaciones 1 a 6, que incluye medios de detección de vibración situados en la estructura de soporte para detectar vibraciones de la misma, los medios de vibración que están configurados para proporcionar datos de vibración a los medios de control.

40 8. El sistema de aerogenerador de la reivindicación 7, en donde los medios de detección de vibración incluyen al menos uno de un conjunto de uno o más acelerómetros y un conjunto de uno o más sensores de carga.

45 9. Un método de operación de un sistema de aerogenerador que comprende una pluralidad de aerogeneradores montados en una estructura de soporte que incluye una torre, en donde cada uno de la pluralidad de aerogeneradores incluye un rotor y un sistema de generación de energía accionado por el rotor, y al menos uno de unos medios de ajuste de paso de pala del rotor y de unos medios de control de potencia del generador; el método comprende:

recibir datos de vibración asociados con la estructura de soporte;

en base a los datos de vibración recibidos, determinar un comando de control de amortiguación para uno respectivo de la pluralidad de aerogeneradores;

50 en base al comando de control de amortiguación, determinar una entrada de control de amortiguación para uno o ambos de los medios de ajuste de paso de pala y de los medios de control de potencia del generador para contrarrestar la vibración medida de la estructura de soporte

caracterizada por que el comando de control de amortiguación tiene en cuenta correlaciones estructurales entre los aerogeneradores en la entrada de control de amortiguación, las correlaciones estructurales que se definen mediante un modelo dinámico del sistema de aerogenerador.

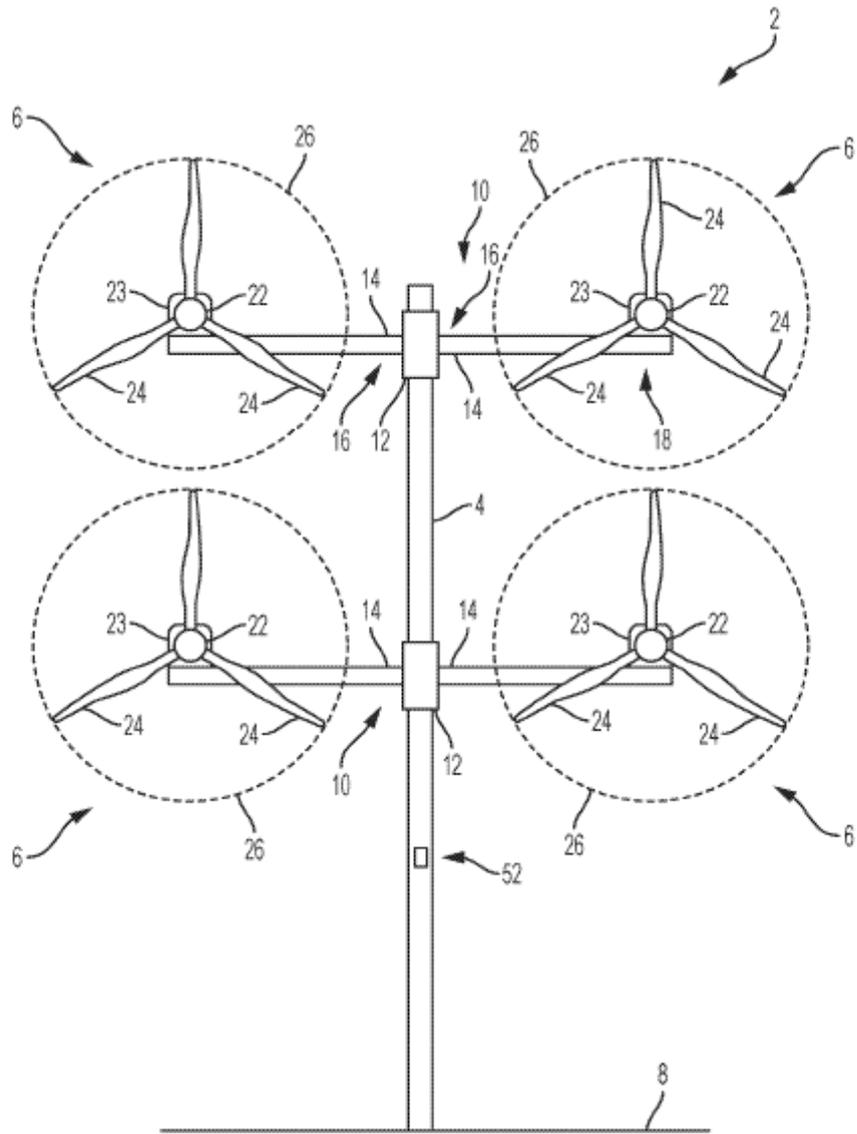


FIG. 1

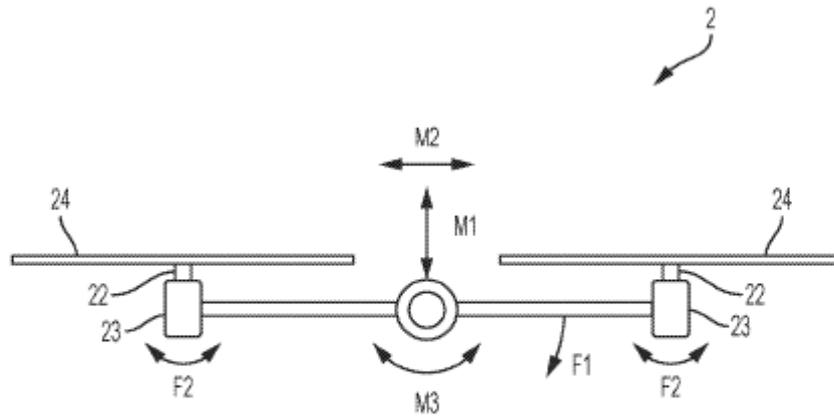


FIG. 2

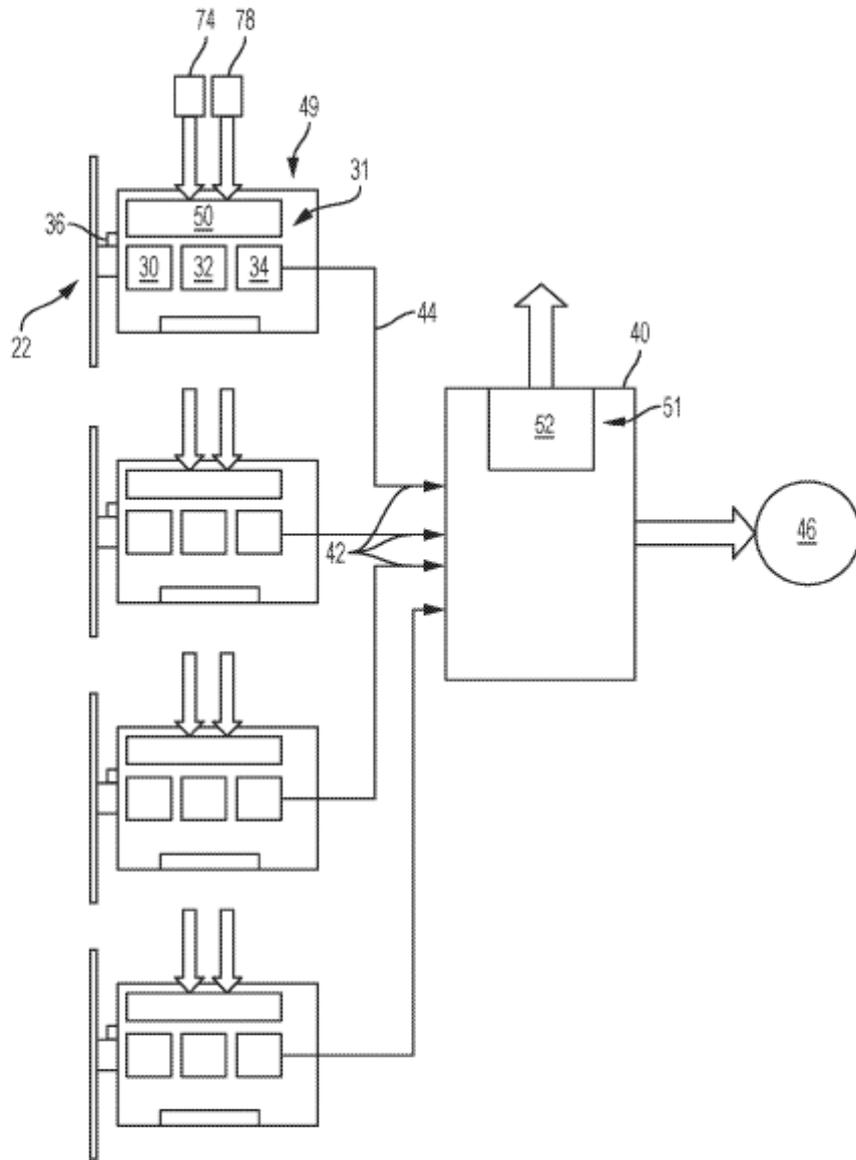


FIG. 3

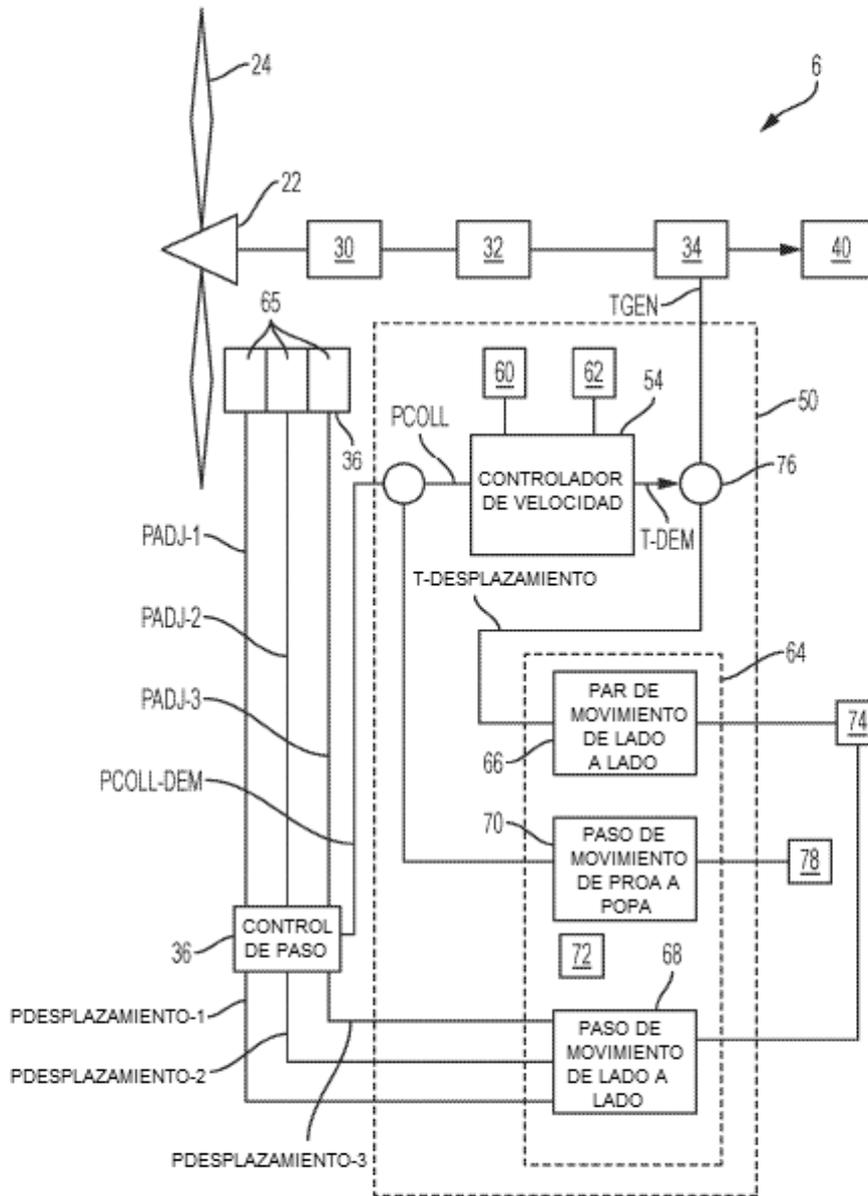


FIG. 4

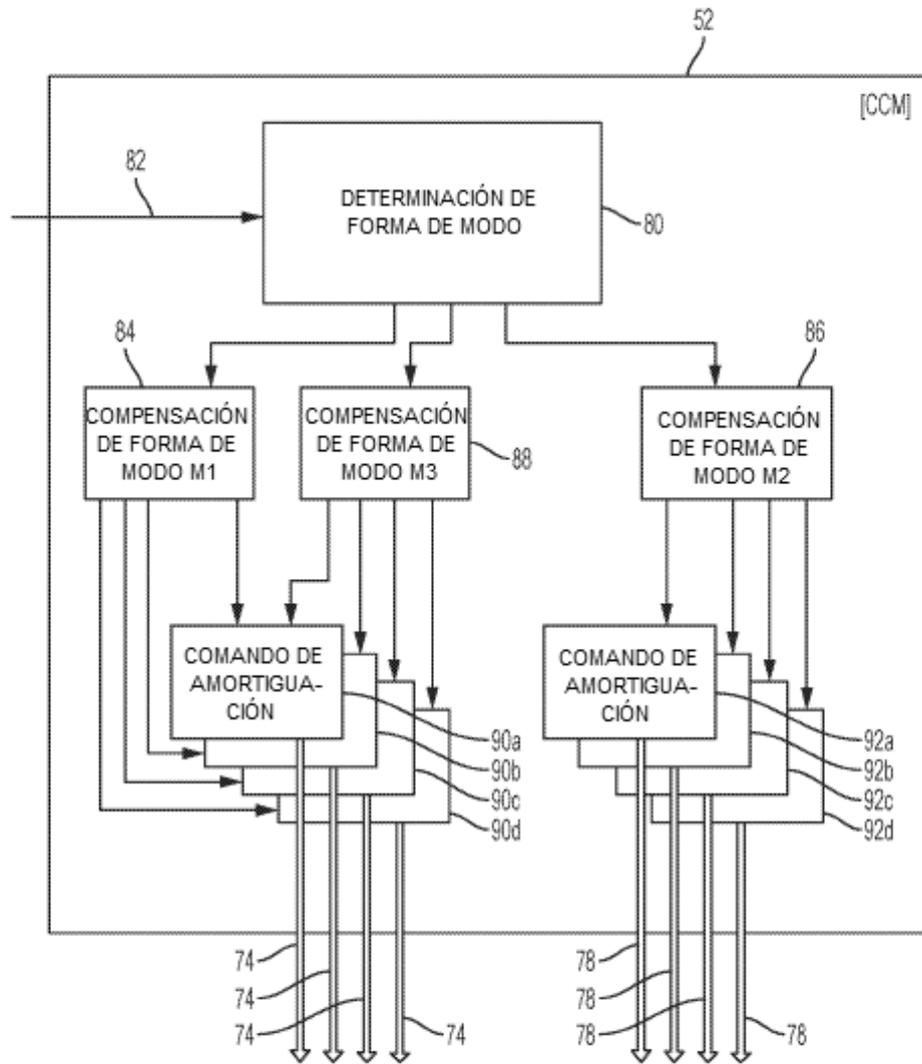


FIG. 5