

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 818**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.04.2015** **E 15164369 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018** **EP 2940295**

54 Título: **Sistema y procedimiento de control de un parque eólico**

30 Prioridad:

29.04.2014 IN CH21562014

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

14.05.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BHASKAR, NITIKA y
AMBEKAR, AKSHAY KRISHNAMURTY

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 667 818 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 y procedimiento de control de un parque eólico

La presente invención se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más particularmente, a sistemas y procedimientos para el control de un parque eólico.

5 La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más amigables con el entorno actualmente disponibles, y las turbinas eólicas han ganado cada vez más atención en este sentido. Una turbina eólica moderna incluye normalmente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola, y un rotor que tiene una o más palas del rotor. Las palas del rotor transforman la energía eólica en un par de giro mecánico que impulsa a uno o más generadores a través del rotor. Los generadores a veces, pero no siempre, se acoplan en giro al rotor a través de la caja de engranajes. La caja de engranajes intensifica la velocidad de giro inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de giro en energía eléctrica, que se alimenta a una red de suministro eléctrico a través de al menos una conexión eléctrica. Tales configuraciones pueden incluir también convertidores de potencia que se utilizan para convertir una frecuencia de energía eléctrica generada en una frecuencia sustancialmente similar a la frecuencia de una red eléctrica.

10 Una pluralidad de turbinas eólicas se utiliza comúnmente de forma conjunta para generar electricidad y se conoce comúnmente como un "parque eólico". Las turbinas eólicas en un parque eólico incluyen normalmente sus propios monitores meteorológicos que realizan, por ejemplo, mediciones de temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, presión barométrica, y/o de la densidad del aire. Además, un mástil o torre meteorológica separada ("mástil meteorológico") que tiene instrumentos meteorológicos de mayor calidad que pueden proporcionar mediciones más precisas en un punto del parque se proporciona normalmente. La correlación de los datos meteorológicos con la salida de potencia permite la determinación empírica de una "curva de potencia" para las turbinas eólicas individuales. Véase el documento US 2011/0309621, que se considera la técnica anterior más cercana y la base del preámbulo de la reivindicación 1. Tradicionalmente, los parques eólicos se controlan de forma descentralizada para generar potencia de manera que cada turbina se opera para maximizar la salida de energía local y para minimizar los impactos de la fatiga local y cargas extremas. Sin embargo, en la práctica, tal optimización independiente de las turbinas eólicas hace caso omiso de los objetivos de rendimiento a nivel del parque, lo que conduce a un rendimiento subóptimo a nivel del parque eólico. Además, los sistemas de turbina eólica convencionales no tienen en cuenta el flujo de entrada de viento y otras condiciones ambientales prevalecientes. Puesto que las condiciones ambientales sobre el parque eólico tienden a cambiar con frecuencia, los modelos iniciales estimados para la operación del parque eólico pueden ser inexactos para su uso durante la ejecución en tiempo real. Un modelado inexacto de los parámetros del viento puede, a su vez, dar como resultado en el uso de configuraciones de control incorrectas para las turbinas eólicas en el parque eólico. Por lo tanto, los enfoques de optimización convencionales para el control de un parque eólico por lo general solo proporcionan una mejora marginal en el rendimiento de salida a nivel del parque.

35 Por lo tanto, un sistema y procedimiento para controlar un parque eólico que proporciona un marco para gestionar mejor el equilibrio entre la disponibilidad de los datos y/o calidad de los datos de cada una de las turbinas eólicas en el parque eólico y las estimaciones de energía serían ventajosos.

Varios aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención.

40 La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor haciendo referencia a la siguiente descripción y a las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran las realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

45 la Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una turbina eólica;

la Figura 2 ilustra una vista esquemática de una realización de un controlador para su uso con la turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

la Figura 3 ilustra una vista esquemática de una realización de un parque eólico de acuerdo con la presente divulgación;

50 la Figura 4 ilustra una vista esquemática de una realización de un procesador de acuerdo con la presente divulgación;

la Figura 5 ilustra un gráfico de una realización de la producción de energía (eje y) para múltiples configuraciones de control como una función de uno o más parámetros del viento (eje x) de acuerdo con la presente divulgación;

55 la Figura 6 ilustra un gráfico de una realización de un modelo de curva de potencia con la potencia a lo largo del eje y, y la velocidad del viento a lo largo del eje x de acuerdo con la presente divulgación; y

la Figura 7 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento de acuerdo con la presente divulgación.

A continuación se hará en detalle a las realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las que se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo explicativo de la invención, no como una limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la materia que diversas modificaciones y variaciones se pueden hacer en la presente invención sin apartarse del alcance o espíritu de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización se pueden utilizar con otra realización para producir una realización adicional. Por lo tanto, se pretende que la presente invención cubra tales modificaciones y variaciones que están comprendidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

Por lo general, la presente divulgación se refiere a un sistema y procedimiento para controlar un parque eólico que incluye una pluralidad de turbinas eólicas. Por ejemplo, en una realización, el sistema opera el parque eólico basándose en múltiples configuraciones de control a lo largo de una pluralidad de intervalos de tiempo y determina cuál de las configuraciones de control es óptima. Como se utiliza aquí, la expresión "configuraciones de control óptimas" o variaciones de la misma pretende abarcar una o más configuraciones de control que proporcionan la mayor producción de energía del parque eólico al tiempo que mantiene las cargas experimentadas por cada una de las turbinas eólicas en el parque eólico por debajo un umbral predeterminado. Más específicamente, el sistema toma uno o más parámetros del viento (por ejemplo, la velocidad del viento y/o la dirección del viento) en el parque eólico a lo largo de la pluralidad de intervalos de tiempo y uno o más datos operativos puntuales a lo largo de la pluralidad de intervalos de tiempo de cada una de las turbinas eólicas en el parque eólico. En una realización, el sistema toma los datos utilizando un servidor de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) en el parque eólico. A continuación, el sistema procesa los datos calculando la contribución de los datos operativos puntuales en cada una de las turbinas eólicas en función del uno o más parámetros del viento. En otras realizaciones, el sistema estima también una producción de energía (por ejemplo, una producción de energía anual (AEP)) del parque eólico para cada una de las configuraciones de control basándose, al menos en parte, en la contribución de los datos operativos puntuales de cada una de las turbinas eólicas. En ciertas realizaciones, el sistema puede estimar también una confianza estadística de las producciones de energía estimadas para el parque eólico. De este modo, el sistema se configura para controlar el parque eólico basándose en las configuraciones de control que proporcionan la producción de energía óptima, teniendo en cuenta tanto la disponibilidad de datos como la calidad de datos.

Las diversas realizaciones del sistema y procedimiento descritos en la presente memoria proporcionan numerosas ventajas no presentes en la técnica anterior. Por ejemplo, la presente divulgación proporciona una solución sistemática para el control de un parque eólico que se ocupa del análisis de calidad de los datos y los límites de incertidumbre detallados a nivel del parque. El análisis de incertidumbre proporciona una confianza deseada sobre el rendimiento futuro del parque eólico. Además, la presente divulgación se configura para utilizar la máxima cantidad de datos tomados, al tiempo que garantiza que la calidad de datos de la producción de energía estimada no se vea afectada. Por lo tanto, el presente sistema corrige los problemas de calidad de datos que surgen a nivel del parque, atendiendo de este modo varios retos asociados con el modelado a nivel del parque. En adición, los inventores de la presente invención descubrieron que las curvas de potencia a nivel del parque y las estimaciones de producción de energía pueden no ser adecuadas para diferentes tipos de parques eólicos. Por lo tanto, la presente invención no depende de los detalles específicos del parque y puede seleccionar, dinámicamente, el procedimiento o algoritmo de cálculo más adecuado para la producción de energía basándose en el rendimiento de las métricas deseadas. En consecuencia, la presente divulgación se puede instalar fácilmente de un parque a otro.

Haciendo referencia a continuación a los dibujos, la Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una turbina 10 eólica configurada para implementar la tecnología de control de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina 10 eólica incluye, por lo general, una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 de soporte, una góndola 16 montada sobre la torre 12, y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un concentrador 20 giratorio y al menos una pala 22 del rotor acoplada a y que se extiende hacia fuera desde el concentrador 20. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas 22 del rotor. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas 22 del rotor. Cada pala 22 del rotor puede estar separada alrededor del concentrador 20 para facilitar el giro del rotor 18 para permitir que la energía cinética sea transferida desde el viento en energía mecánica útil, y posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el concentrador 20 se puede acoplar en giro a un generador eléctrico (no mostrado) situado dentro de la góndola 16 para permitir la producción de energía eléctrica.

La turbina 10 eólica puede incluir también un controlador 26 de la turbina eólica centrado dentro de la góndola 16. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador 26 se puede situar dentro de cualquier otro componente de la turbina 10 eólica o en una ubicación fuera de la turbina eólica. Además, el controlador 26 se puede acoplar comunicativamente a cualquier número de los componentes de la turbina 10 eólica para controlar la operación de dichos componentes y/o para implementar una acción de control. Como tal, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuado. Por tanto, en varias realizaciones, el controlador 26 puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se aplican, configuran el controlador 26 para realizar varias funciones diferentes, tales como recepción, transmisión y/o ejecución de señales de control de las turbinas eólicas. En consecuencia, el controlador 26 puede, por lo general, configurarse para controlar los diversos modos de operación de la turbina 10 eólica (por ejemplo, secuencias de puesta en marcha o parada), disminuir

capacidad o aumentar capacidad de la turbina 10 eólica, y/o controlar varios componentes de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el controlador 26 se puede configurar para controlar el paso de las palas o ángulo de paso de cada una de las palas 22 del rotor (es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas 22 del rotor con respecto a la dirección del viento) para controlar la salida de potencia generada por la turbina 10 eólica mediante el ajuste de una posición angular de al menos una pala 22 del rotor con respecto al viento. Por ejemplo, el controlador 26 puede controlar el ángulo de paso de las palas 22 del rotor girando las palas 22 del rotor alrededor de un eje 28 de cabeceo, individual o simultáneamente, transmitiendo las señales de control adecuadas a un mecanismo de ajuste del paso o unidad de paso (no mostrada) de la turbina 10 eólica.

A continuación haciendo referencia a la Figura 2, un diagrama de bloques de una realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador 26 se ilustra de acuerdo con los aspectos de la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 58 y uno o más dispositivos 60 de memoria asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas en el ordenador (por ejemplo, la realización de procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en la presente memoria). Tal como se utiliza aquí, el término "procesador" se refiere no solo a los circuitos integrados referidos en la técnica como estando incluido en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), una circuitos integrados de aplicación específica, procesadores de aplicación específica, procesadores de señales digitales (DSP), Circuitos integrados de Aplicación específica (ASIC), Matriz de Puertas Programable (FPGA), y/o cualquier otro circuito programable. Además, el uno o más dispositivos 60 de memoria puede incluir por lo general uno o más elementos de memoria que incluyen, pero no se limitan a, medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria Flash), una o varias unidades de disco duro, un disquete, un Disco Compacto con Memoria de Solo Lectura (CD-ROM), unidades de disco compacto regrabable (CD-RW), un disco magneto-óptico (MOD), un disco digital versátil (DVD), unidades flash, unidades ópticas, dispositivos de almacenamiento de estado sólido, y/u otros elementos de memoria adecuados.

Además, el controlador 26 puede incluir también un módulo 62 de comunicaciones para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el módulo 62 de comunicaciones puede incluir una interfaz 64 de sensor (por ejemplo, uno o más convertidores analógico a-digitales) para permitir que las señales transmitidas por uno o más sensores 65, 66, 67 sean convertidas en señales que pueden comprenderse y procesarse por el controlador 26. Además, se debe apreciar que los sensores 65, 66, 67 se pueden acoplar en comunicación con el módulo 62 de comunicaciones utilizando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, los sensores 65, 66, 67 se acoplan a la interfaz 64 de sensor a través de una conexión por cable. Sin embargo, en realizaciones alternativas, los sensores 65, 66, 67 se pueden acoplar a la interfaz 64 de sensor a través de una conexión inalámbrica, tal como utilizando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Por ejemplo, el módulo 62 de comunicaciones puede incluir Internet, una red de área local (LAN), redes de área local inalámbricas (WLAN), redes de área amplia (WAN), como las redes de interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX), redes de satélites, redes celulares, redes de sensores, redes ad hoc, y/o redes de corto alcance. Como tal, el procesador 58 se puede configurar para recibir una o más señales de los sensores 65, 66, 67.

Los sensores 65, 66, 67 pueden ser cualquier sensor adecuado configurado para medir cualquier dato operativo puntual de la turbina 10 eólica y/o parámetros del viento del parque eólico. Por ejemplo, los sensores 65, 66, 67 pueden incluir sensores en las palas para medir un ángulo de paso de una de las palas 22 del rotor o para la medición de una carga que actúa sobre una de las palas 22 del rotor; sensores en el generador para el seguimiento del generador (por ejemplo, par, velocidad de giro, aceleración y/o salida de potencia); y/o diversos sensores de viento para la medición de diversos parámetros del viento (por ejemplo, velocidad del viento, dirección del viento, etc.). Además, los sensores 65, 66, 67 se pueden situar cerca del suelo de la turbina 10 eólica, en la góndola 16, en un mástil meteorológico de la turbina 10 eólica, o en cualquier otro lugar del parque eólico.

También se debe entender que se puede emplear cualquier otro número o tipo de sensores y en cualquier ubicación. Por ejemplo, los sensores pueden ser acelerómetros, sensores de presión, medidores de tensión, sensores de ángulo de ataque, sensores de vibración, sensores MIMU, sistemas de cámaras, sistemas de fibra óptica, anemómetros, veletas, sensores Detección Y Alcance Sónicos (SODAR), láseres infrarrojos, sensores de Detección Y Alcance De Luz (LIDAR), radiómetros, tubos Pitot, radiovientosondas, otros sensores ópticos, y/o cualquier otro sensor adecuado. Se debe apreciar que, como se utiliza aquí, el término "monitor" y las variaciones del mismo indica que los diversos sensores de la turbina 10 eólica se pueden configurar para proporcionar una medición directa de los parámetros que está controlando o una medición indirecta de tales parámetros. Por tanto, los sensores 65, 66, 67 pueden, por ejemplo, utilizarse para generar señales relacionadas con el parámetro que se está monitorizando, que se pueden utilizar después por el controlador 26 para determinar la condición real.

A continuación haciendo referencia a la Figura 3, un parque 200 eólico que se controla de acuerdo con el sistema y procedimiento de la presente divulgación se ilustra. Como se muestra, el parque 200 eólico puede incluir una pluralidad de turbinas 202 eólicas, incluyendo la turbina 10 eólica descrita anteriormente, y un controlador 222 del parque. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, el parque 200 eólico incluye doce turbinas eólicas, incluyendo la turbina 10 eólica. Sin embargo, en otras realizaciones, el parque 200 eólico puede incluir cualquier otro número de turbinas eólicas, tal como menos de doce turbinas eólicas o más de doce turbinas eólicas. En una

realización, el controlador 26 de la turbina 10 eólica se puede acoplar en comunicación al controlador 222 del parque a través de una conexión por cable, tal como mediante la conexión del controlador 26 a través de enlaces 226 de comunicación adecuados (por ejemplo, un cable adecuado). Como alternativa, el controlador 26 se puede acoplar en comunicación al controlador 222 del parque a través de una conexión inalámbrica, tal como utilizando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Además, el controlador 222 del parque se puede configurar generalmente de forma similar a los controladores 26 para cada una de las turbinas 202 eólicas individuales dentro del parque 200 eólico.

En varias realizaciones, una o más de las turbinas 202 eólicas en el parque 200 eólico puede incluir una pluralidad de sensores para el control de varios datos operativos puntuales o configuraciones de control de las turbinas 202 eólicas individuales y/o uno o más parámetros del viento del parque 200 eólico. por ejemplo, como se muestra, cada una de las turbinas 202 eólicas incluye un sensor 216 de viento, tal como un anemómetro o cualquier otro dispositivo adecuado, configurado para medir las velocidades del viento o cualquier otro parámetro del viento. Por ejemplo, en una realización, los parámetros del viento incluyen información con respecto a al menos uno de o una combinación de los siguientes: ráfaga de viento, velocidad del viento, dirección del viento, aceleración del viento, turbulencia del viento, gradiente transversal del viento, irregularidad del viento, estela, información SCADA, o similar.

Como se entiende generalmente, las velocidades del viento pueden variar significativamente a través de un parque 200 eólico. Por lo tanto, el uno o más sensores 216 de viento pueden permitir la velocidad del viento local en cada turbina 202 eólica a controlar. Además, la turbina 202 eólica puede incluir también uno o más sensores 218. Por ejemplo, los sensores 218 se pueden configurar para controlar las propiedades eléctricas de la salida del generador de cada turbina 202 eólica, tales como sensores de corriente, sensores de tensión, sensores de temperatura, o sensores de potencia que controlan la salida de potencia directamente basándose en mediciones de corriente y tensión. Como alternativa, los sensores 218 pueden incluir cualquier otro sensor que se pueda utilizar para controlar la salida de potencia de una turbina 202 eólica. También, se debe entender que las turbinas 202 eólicas en el parque 200 eólico pueden incluir cualquier otro sensor adecuado conocido en la técnica para medir y/o controlar los parámetros del viento y/o datos operativos puntuales de la turbina eólica.

A continuación haciendo referencia a la Figura 4, una vista esquemática de una realización de un procesador 68 del controlador 222 del parque se ilustra de acuerdo con los aspectos de la presente divulgación. El uno o más procesadores 68 del parque eólico se configura para realizar cualquiera de las etapas de la presente divulgación descritas en el presente documento. Puesto que la optimización independiente de las turbinas 202 eólicas puede además disminuir realmente la producción total de energía del parque 200 eólico, es deseable configurar la operación de las turbinas 202 eólicas de tal manera que la producción de energía al nivel del parque, AEP, cargas de fatiga, y/o ruido del parque 200 eólico permanecen dentro de los umbrales correspondientes designados. Particularmente, es deseable ajustar continuamente las configuraciones de control de cada una de las turbinas 202 eólicas que interactúan basándose en la disponibilidad de datos (por ejemplo, mediante los parámetros, por el tiempo) y la calidad del análisis en tiempo real, de tal manera que se logren de forma consistente los objetivos de rendimiento a nivel del parque. Más específicamente, como se muestra, el procesador 68 se configura para operar el parque 200 eólico basándose en múltiples configuraciones de control a lo largo de una pluralidad de intervalos de tiempo. Por lo tanto, el procesador 68 se configura para tomar uno o más parámetros 69 del viento en el parque 200 eólico durante una pluralidad de intervalos de tiempo y uno o más datos 70 operativos puntuales durante la pluralidad de intervalos de tiempo de cada una de las turbinas 202 eólicas en el parque 200 eólico. En una realización, los parámetros 69 del viento y/o los datos 70 operativos puntuales se pueden generar a través de uno o más de los sensores (por ejemplo, a través de los sensores 65, 66, 67, 216, 218, o cualquier otro sensor adecuado). Como alternativa, los parámetros 69 del viento y/o los datos 70 operativos puntuales se pueden estimar a través de un modelo informático dentro del procesador 68.

Además, el procesador 68 se configura para procesar los parámetros 69 del viento y los datos 70 operativos puntuales en una variedad de maneras. Por ejemplo, en una realización, el procesador 68 puede incluir uno o más algoritmos de calidad de datos configurados para procesar los datos operativos. En realizaciones adicionales, el procesador 68 se puede configurar para filtrar, promediar, y/o ajustar el uno o más datos 70 operativos puntuales. Más específicamente, los algoritmos de calidad de datos se pueden configurar para filtrar uno o más valores atípicos, tomar en cuenta los datos puntuales que faltan, y/o cualquier otra etapa de procesamiento adecuada. Por lo tanto, los algoritmos de calidad de datos proporcionan un marco para gestionar mejor el equilibrio entre la disponibilidad de datos (por ejemplo, mediante parámetros, tiempo) y la calidad de análisis como se describirá en más detalle a continuación.

Por ejemplo, en diversas realizaciones, los algoritmos procesan los parámetros 69 del viento y los datos 70 operativos puntuales para determinar un estado operativo de cada una de las turbinas 202 eólicas durante cada uno de la pluralidad de intervalos de tiempo. Por ejemplo, como se muestra en la tabla 72 de procesamiento de datos de la Figura 4, los datos operativos puntuales de la muestra para cinco turbinas 202 eólicas diferentes en el parque 200 eólico se ilustran. Como se muestra, los datos 70 operativos puntuales pueden incluir también información sobre el identificador de la turbina eólica, la potencia generada (en kilovatios, kW), y el estado operativo. En realizaciones adicionales, los datos 70 operativos puntuales pueden incluir información con respecto a al menos uno de o una combinación de los siguientes: un ángulo de paso, una velocidad del generador, una salida de potencia, una salida de par motor, una relación de velocidad de la punta, alineación o desalineación de guiñada, un estado operativo de

la turbina eólica, una o más configuraciones de control, una temperatura, una presión, o similar, así como información con respecto a cualquier turbina eólica no operativa en el parque eólico.

Basándose en los datos 70 operativos puntuales, el procesador 68 del parque eólico se configura para inferir el estado operativo de cada turbina 202 eólica, indicando si la turbina 202 eólica está operando en un estado normal o anormal. Más específicamente, un "estado normal" indica que la turbina 202 eólica está generando energía de acuerdo con sus configuraciones de control y/o curva de potencia. Un "estado anormal" indica que la turbina 202 eólica no está generando energía de acuerdo con sus configuraciones de control ni/o curva de potencia. Por lo tanto, el procesador 68 puede inferir si la turbina 202 eólica está operando normalmente, si se trata fuera de línea para su mantenimiento rutinario, mantenimiento no rutinario, o cualquier otra razón (por ejemplo, corte de energía, etc.), o si la turbina 202 eólica está operando entre el estado normal y el estado fuera de línea.

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4, las turbinas 1, 2, y 5 eólicas están generando potencia como se espera (es decir, 800 kW, 820 kW, y 830 kW, respectivamente), mientras que las turbinas 2 y 4 eólicas no están generando ninguna potencia (como se indica por 0 kW). Como tal, el procesador 68 determina el estado operativo de las turbinas 202 eólicas basándose en la potencia generada (o cualquier otro dato operativo puntual adecuado descrito en la presente memoria). En consecuencia, como se muestra, el procesador 68 ha determinado que las turbinas 1, 2, y 5 eólicas están operando en un estado normal o estándar, mientras que las turbinas 2 y 4 eólicas están fuera de línea.

En realizaciones adicionales, los algoritmos de calidad de datos se configuran para calcular una contribución de cada una de las turbinas 202 eólicas para los datos operativos puntuales como una función del uno o más parámetros 69 del viento, por ejemplo, una velocidad del viento. Tal como se utiliza aquí, el término "contribución" o variaciones del mismo se entiende como abarcando la cantidad de datos 70 operativos puntuales que se toma de cada turbina 202 de viento individual en el parque 200 eólico en comparación con otras turbinas 202 eólicas en el parque 200 eólico. En otras palabras, si una primera turbina eólica está operando en un estado normal y una segunda turbina eólica está operando en un estado anormal, la contribución de los datos tomados por la primera turbina eólica será mayor que la de la segunda turbina eólica. Además, el procesador 68 puede calcular un porcentaje de cada contribución de cada una de las turbinas 202 eólicas con respecto a una contribución total de todas las turbinas 202 eólicas del parque 200 eólico y aplicar un factor de corrección para cada uno de los porcentajes. Como tal, el procesador 68 utiliza todos los datos tomados, pero corrige los datos tomados de las turbinas 202 eólicas que no están operando correctamente. Por lo tanto, el procesador 68 utiliza la cantidad máxima de datos tomados, en lugar de eliminar o desechar los datos tomados de las turbinas 202 eólicas que operan de forma no estándar.

Todavía con referencia a la realización de la Figura 4, el procesador 68 se configura a continuación para estimar una producción 74 de energía del parque 200 eólico para cada una de las configuraciones de control basándose al menos en parte en la contribución de los datos 70 operativos puntuales de cada una de las turbinas 202 eólicas. Por ejemplo, como se muestra, la producción 74 de energía para el parque 200 eólico se basa en los datos procesados generados por las turbinas 1 a 5 eólicas en combinación con el uno o más parámetros 69 del viento. En realizaciones adicionales, el procesador 68 puede determinar también una pluralidad de producciones 74 de energía para cada configuración de control utilizando múltiples algoritmos de calidad de datos y determinar dinámicamente la producción de energía óptima a partir de la pluralidad de las producciones de energía basándose en diversas condiciones, incluyendo pero sin limitarse a las condiciones del sitio del parque 200 eólico, los parámetros operativos de las turbinas 202 eólicas o datos puntuales, especificaciones del modelo de las turbinas 202 eólicas, o similares. Más específicamente, en diversas realizaciones, las condiciones del sitio pueden incluir también una disposición geométrica conocida del parque 200 eólico, incluyendo el número de turbinas 202 eólicas vecinas, las ubicaciones reales de las turbinas 202 eólicas, las ubicaciones relativas de las turbinas 202 eólicas aguas abajo y de aguas arriba, y/o la información del terreno del parque 200 eólico. Por tanto, el procesador 68 se configura para seleccionar dinámicamente el algoritmo más adecuado para el cálculo de la producción 74 de energía basándose en el rendimiento de las métricas deseadas.

A continuación haciendo referencia a la Figura 5, el procesador 68 del parque eólico puede evaluar más de una configuración de control y comparar las configuraciones de control para determinar una configuración de control óptima. Por ejemplo, como se muestra, se ilustra una realización de un gráfico 75 generado por el procesador 68 durante el análisis de datos y filtrado a una velocidad del viento particular. Como se muestra, el gráfico 75 ilustra la producción de energía (eje y) para múltiples configuraciones de control como una función de uno o más parámetros del viento (eje x), por ejemplo, la dirección del viento en grados, de acuerdo con la presente divulgación. Más específicamente, el gráfico 75 incluye los datos generados a partir de la operación en una primera configuración 80 superpuesta con los datos generados a partir de la operación en una segunda configuración 82. Como se muestra, la primera configuración de control 80 corresponde a una producción de energía total mayor; por lo tanto, en la realización ilustrada, la configuración de control óptima corresponde a la primera configuración 80 de control.

Haciendo referencia a las Figuras 4 y 6, en ciertas realizaciones, el procesador 68 del parque eólico puede generar también un modelo 76 de curva de potencia en tiempo real para el parque 200 eólico basándose en la producción 74 de energía estimada para el parque 200 eólico y controlar dinámicamente el parque 200 eólico basándose en el modelo 76 de curva de potencia. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, el procesador 68 evalúa una curva

84 de potencia para la primera configuración de control y una curva 86 de potencia para la segunda configuración de control y determina que la configuración de control es óptima. Además, el procesador 68 puede determinar al menos una estimación de una confianza estadística de las producciones 74 de energía estimadas y/o las curvas 84, 86 de potencia. La confianza estadística de la producción 74 de energía se puede determinar de una variedad de maneras. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, una desviación estándar +/- (por ejemplo, +/- 10 %), como se representa por líneas 85 y 87 discontinuas, se determina para cada una de las curvas 84, 86 de potencia. En realizaciones adicionales, la confianza estadística de la producción de energía se puede determinar utilizando uno de o una combinación de los siguientes: métricas de distribución para los parámetros operativos, análisis del comportamiento de los datos operativos puntuales a través de varias configuraciones de control, un punto de ruptura, una función de influencia, una media recortada, una curva de sensibilidad, o cualquier otro procedimiento y/o cálculo conocido en la técnica para la determinación de los límites de confianza adecuados. Por ejemplo, en una realización, la confianza estadística de la producción de energía se puede estimar mediante la determinación de una distribución de al menos una parte de los datos operativos puntuales. En una realización adicional, el comportamiento de los datos operativos puntuales a través de las diversas configuraciones de control se puede analizar para determinar la difusión de datos a través del tiempo. Además, el comportamiento de los datos puntuales se puede analizar mediante la determinación de una tendencia y/o la desviación estándar o la media de los datos operativos puntuales. Mediante la comprensión de la tendencia de los datos operativos puntuales, el procesador 68 puede estimar o predecir cómo se comportarán los datos puntuales en un período de tiempo posterior. Además, la configuración de control óptima se puede determinar basándose en el equilibrio entre la disponibilidad de datos y/o el análisis de la calidad de datos.

Además, y haciendo referencia a la Figura 4, el procesador 68 puede implementar una o más acciones de control en una o más de las turbinas 202 eólicas dentro del parque 200 eólico para controlar el parque 200 eólico y optimizar el AEP del parque 200 eólico. En ciertas realizaciones, por ejemplo, el procesador 68 puede determinar la configuración de control actualizada u optimizada basándose en el modelo 76 de la curva de potencia. Más específicamente, las configuraciones de control optimizadas pueden incluir al menos uno de los siguientes: alteración del ángulo de paso de una pala del rotor, modificación de un par motor del generador, modificación de la velocidad del generador, modificación de la salida de potencia, la guiñada de una góndola de la turbina eólica, el frenado de uno o más componentes de la turbina eólica, la adición o la activación de un elemento de modificación del flujo de aire en una superficie de la pala del rotor, o similares.

Haciendo referencia a la Figura 7, se ilustra una realización de un procedimiento 100 para el control de un parque 200 eólico. Como se muestra, el procedimiento 100 incluye una etapa 102 de operar el parque eólico basándose en múltiples configuraciones de control durante una pluralidad de intervalos de tiempo. Otra etapa 104 incluye tomar uno o más parámetros del viento en el parque 200 eólico durante una pluralidad de intervalos de tiempo. Una etapa 106 adicional incluye tomar uno o más datos operativos puntuales de cada una de las turbinas 202 eólicas en el parque 200 eólico durante la pluralidad de intervalos de tiempo. El procedimiento 100 incluye también calcular 108 una contribución de los datos operativos puntuales para cada una de las turbinas eólicas como una función del uno o más parámetros del viento. Una etapa 110 siguiente incluye estimar la producción de energía del parque 200 eólico para cada una de las configuraciones de control basándose, al menos en parte, en la contribución de los datos operativos puntuales de cada una de las turbinas 202 eólicas. Otra etapa 112 incluye controlar el parque 200 eólico basándose en las configuraciones de control que proporcionan la producción de energía óptima

Las realizaciones ejemplares de un parque eólico, un controlador de un parque eólico, y un procedimiento para controlar un parque eólico se han descrito anteriormente en detalle. El procedimiento, el parque eólico, y el controlador no se limitan a las realizaciones específicas descritas en la presente memoria, sino más bien, los componentes de las turbinas eólicas y/o el controlador y/o etapas del procedimiento se pueden utilizar de forma independiente y por separado de otros componentes y/o etapas descritas en la presente memoria. Por ejemplo, el controlador y el procedimiento se pueden utilizar también en combinación con otros sistemas de energía y procedimientos, y no se limitan a su implementación solo con el controlador de la turbina eólica como se describe en la presente memoria. Más bien, la realización ejemplar se puede implementar y utilizar en conexión con muchas otras aplicaciones de turbinas eólicas o sistema de potencia.

Si bien las características específicas de las diversas realizaciones de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto es solo por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede referenciarse y/o reivindicarse en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferido, y también para permitir que cualquier experto en la materia ponga en práctica la invención, incluyendo hacer y utilizar los dispositivos o sistemas y realizar cualquiera de los procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se producen por los expertos en la técnica. Tales otros ejemplos están destinados a estar dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) de control de un parque eólico que incluye una pluralidad de turbinas eólicas, comprendiendo el procedimiento:
- 5 operar (102) el parque eólico basándose en múltiples configuraciones de control durante una pluralidad de intervalos de tiempo;
tomar (104) uno o más parámetros del viento en el parque eólico durante la pluralidad de intervalos de tiempo;
tomar (106) uno o más datos operativos puntuales para cada una de las turbinas eólicas en el parque eólico durante la pluralidad de intervalos de tiempo; estando el procedimiento **caracterizado por** las etapas adicionales de:
- 10 de:
- procesar los datos operativos puntuales para cada una de las turbinas eólicas para determinar un estado operativo de cada una de las turbinas eólicas durante cada uno de la pluralidad de intervalos de tiempo.
calcular (108) una contribución de los datos operativos puntuales para cada una de las turbinas eólicas como una función del uno o más parámetros del viento que comprende:
- 15 determinar un porcentaje de cada una de las contribuciones de cada una de las turbinas eólicas con respecto a una contribución total de todas las turbinas eólicas del parque eólico; y
aplicar un factor de corrección para cada uno de los porcentajes.
- estimar (110) una producción de energía del parque eólico para cada una de las configuraciones de control basándose al menos en parte en la contribución de los datos operativos puntuales de cada una de las turbinas eólicas; y,
20 controlar (112) el parque eólico basándose en las configuraciones de control que proporcionan la producción de energía óptima.
2. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, que comprende además al menos uno de filtrar el uno o más datos operativos puntuales, promediar el uno o más datos operativos puntuales, o ajustar el uno o más datos operativos puntuales para tomar en cuenta los datos puntuales que faltan.
- 25 3. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que el control del parque eólico comprende además estimar un modelo de curva de potencia en tiempo real del parque eólico basándose en la producción de energía óptima y el control del parque eólico basándose en el modelo de curva de potencia.
- 30 4. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación anterior, que comprende además determinar al menos una estimación de una confianza estadística de la producción de energía del parque eólico para cada una de las configuraciones de control.
- 35 5. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que la estimación de la producción de energía del parque eólico para cada una de las configuraciones de control se basa además, al menos en parte, en uno o más de los siguientes: condiciones del sitio del parque eólico, parámetros operativos de las turbinas eólicas, ubicación de las turbinas eólicas en el parque eólico, o especificaciones del modelo de las turbinas eólicas.
- 40 6. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que los parámetros del viento comprenden información con respecto a al menos uno de o una combinación de los siguientes: una ráfaga de viento, una velocidad del viento, una dirección del viento, una aceleración del viento, una turbulencia del viento, un gradiente transversal del viento, una irregularidad del viento, una estela, o información SCADA.
- 40 7. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que los datos operativos puntuales comprenden información con respecto a al menos uno de o una combinación de los siguientes: un ángulo de paso, una velocidad del generador, una salida de potencia, una salida de par motor, una relación de velocidad de la punta, un estado operativo de la turbina eólica, una o más configuraciones de control, una temperatura y una presión.
- 45 8. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que el control del parque eólico basado en las configuraciones de control que proporcionan la producción de energía óptima comprende además:
- 50 implementar una o más acciones de control en una o más de las turbinas eólicas en el parque eólico para optimizar la producción de energía del parque eólico,
en el que la una o más acciones de control comprenden al menos uno de alterar el ángulo de paso de una pala del rotor, modificar un par motor del generador, modificar la velocidad del generador, modificar la potencia de salida, la guiñada de una góndola de la turbina eólica, el frenado de uno o más componentes de las turbinas eólicas, o la adición o la activación de un elemento de modificación del flujo de aire en una superficie de la pala del rotor.

9. Un sistema (200) para controlar un parque eólico que incluye una pluralidad de turbinas eólicas, comprendiendo el procedimiento:

5 un procesador (222) acoplado en comunicación al uno o más sensores, el procesador configurado para implementar el procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.

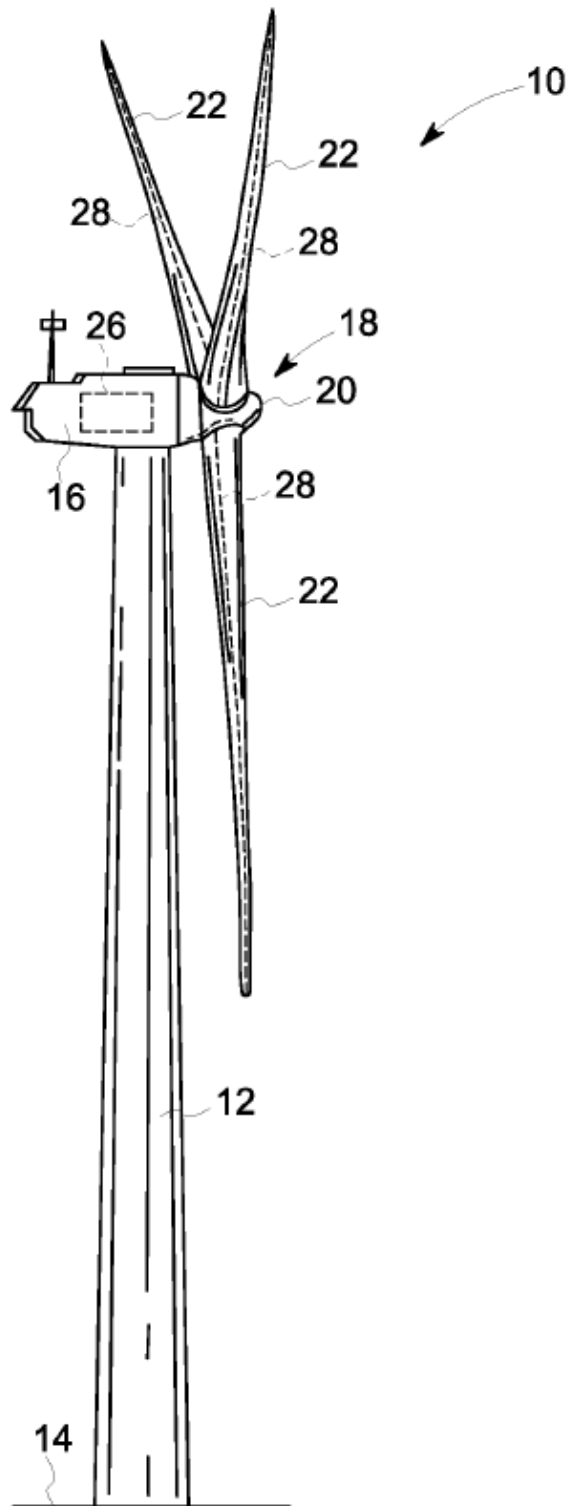


FIG. 1

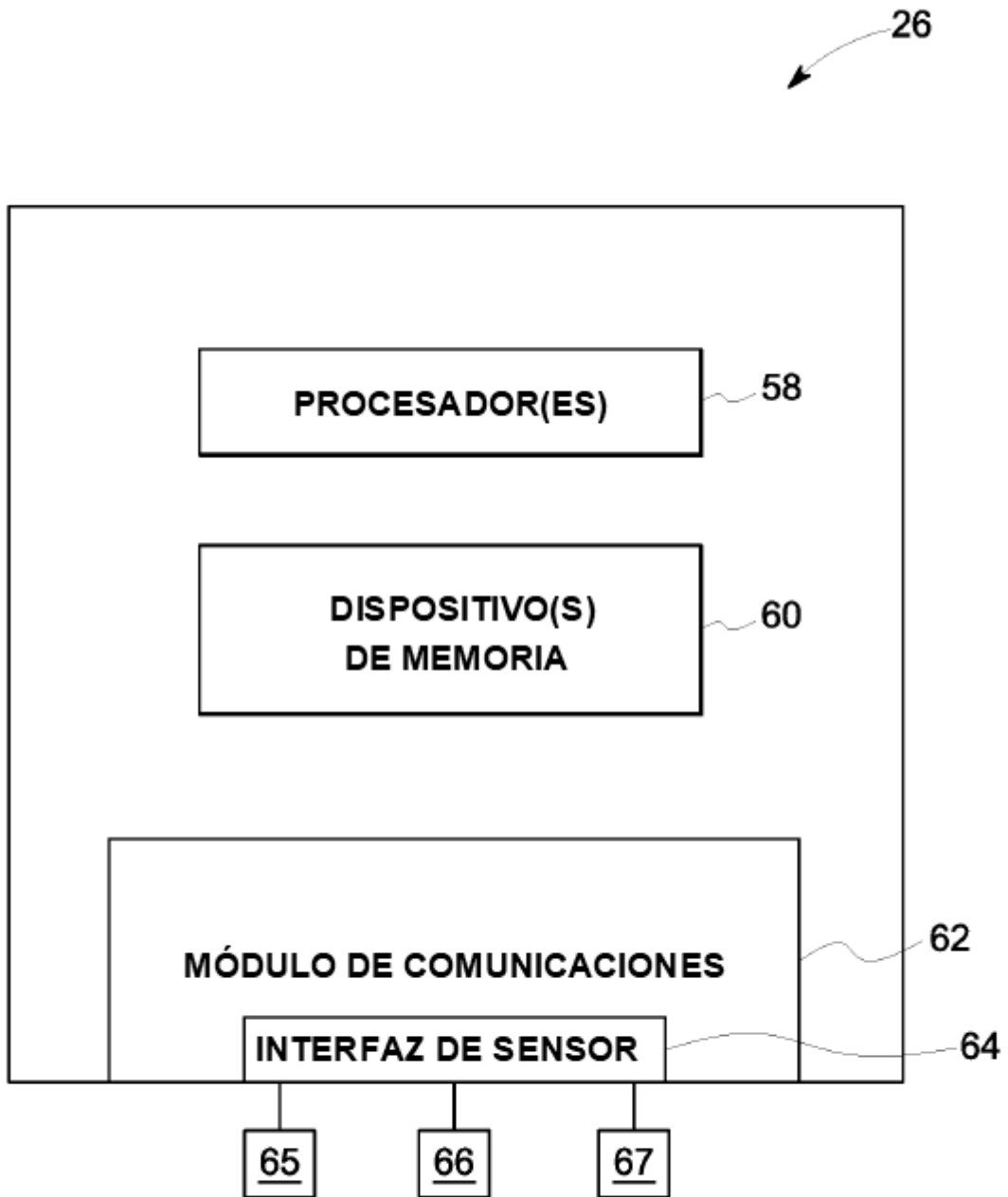


FIG. 2

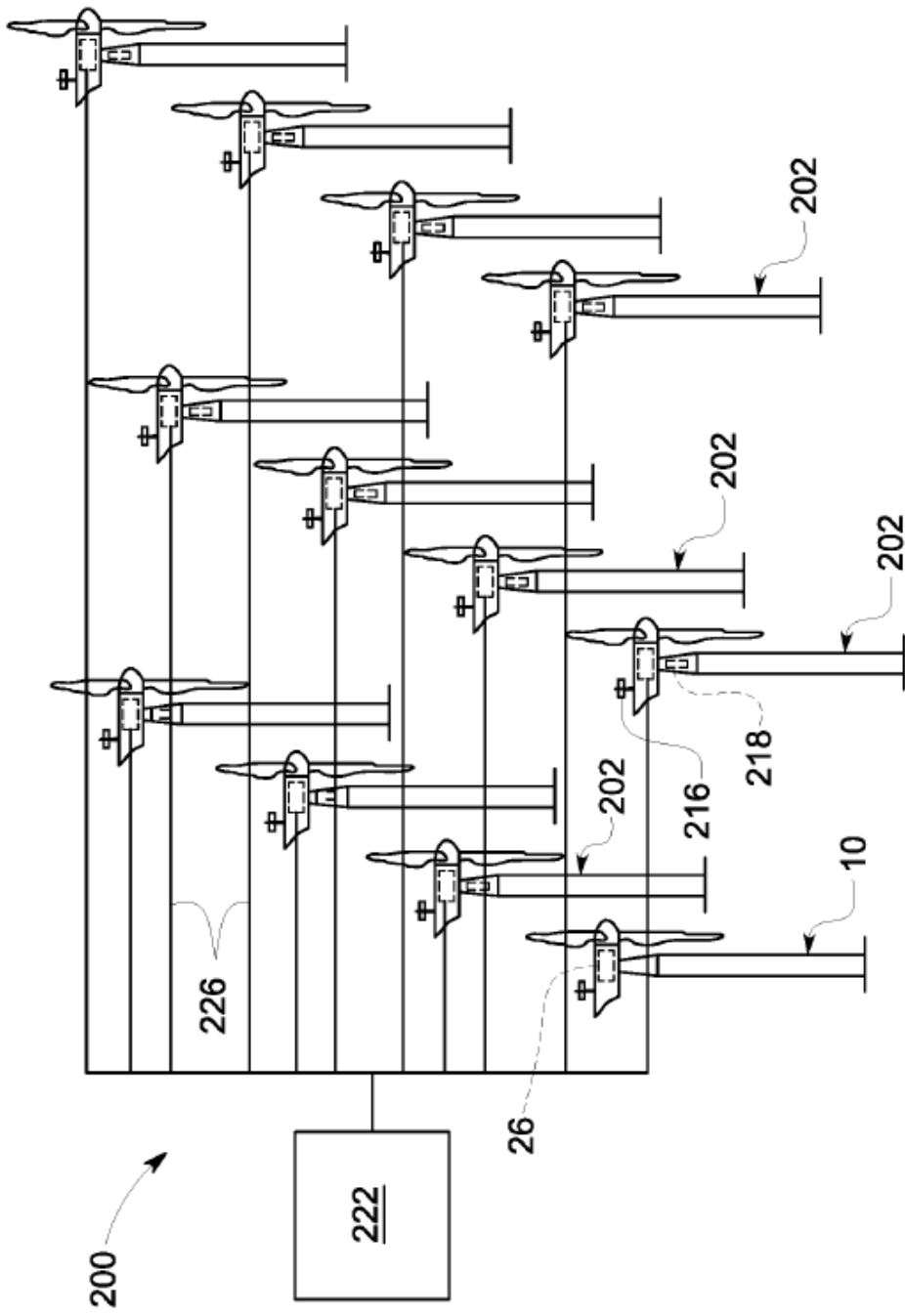


FIG. 3

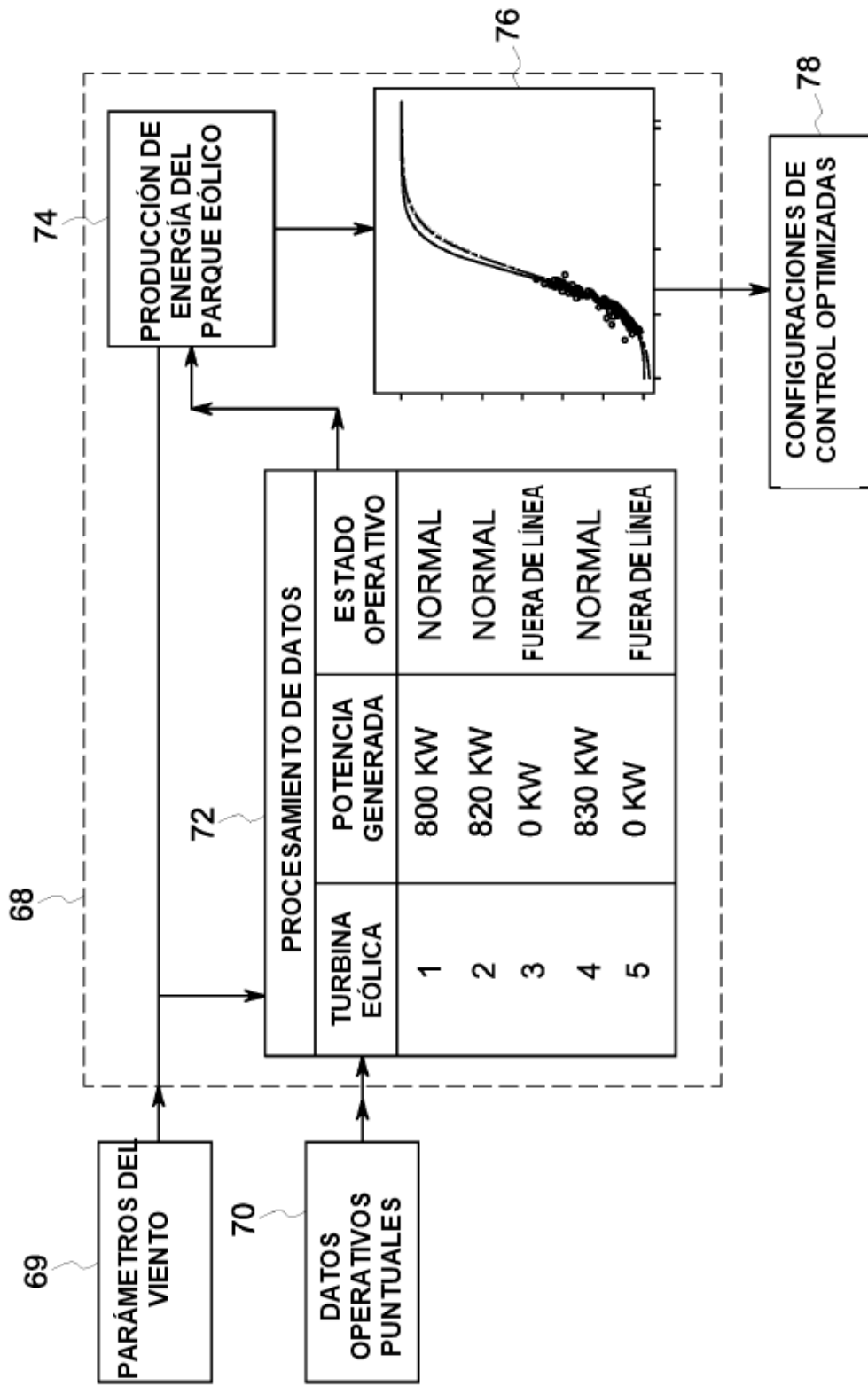


FIG. 4

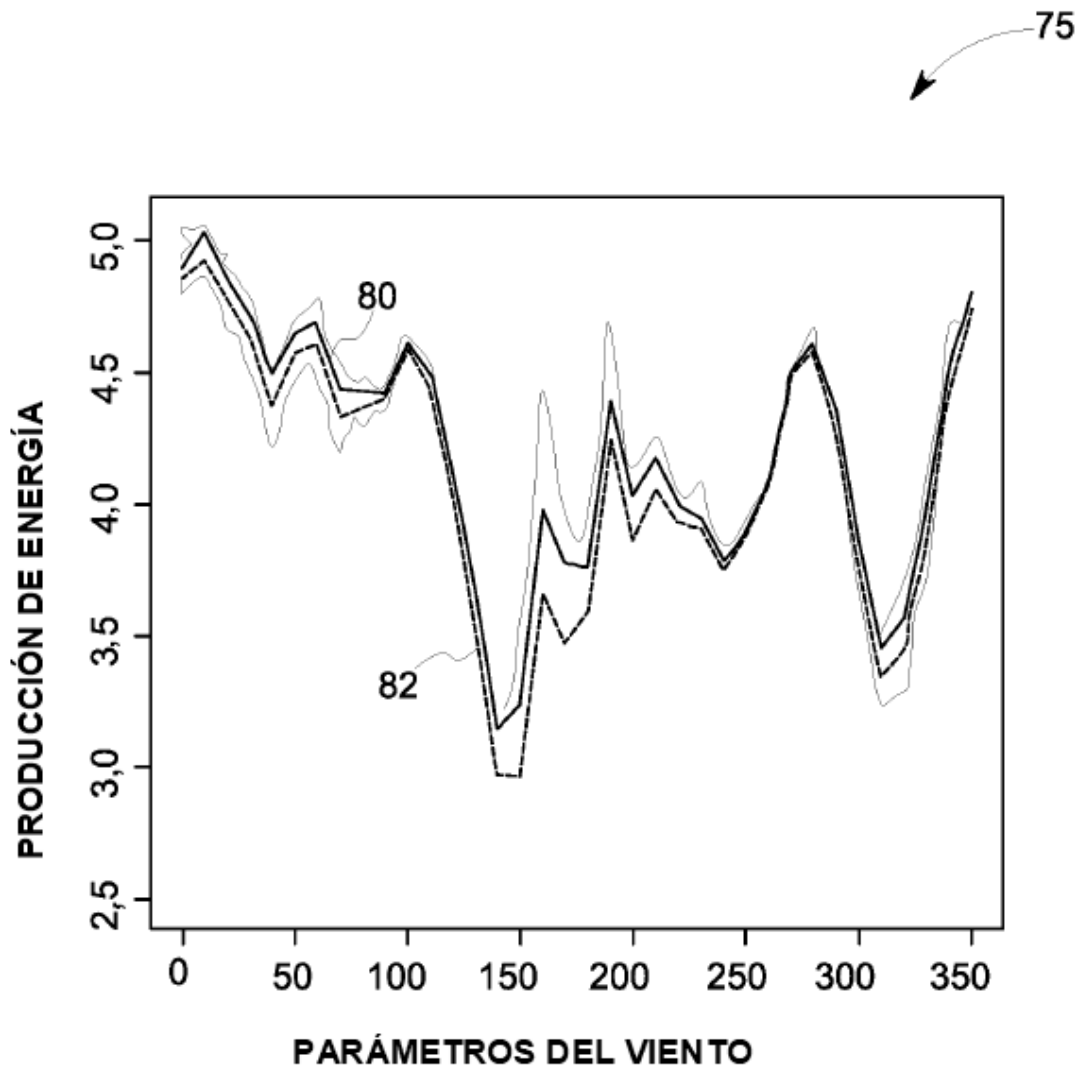


FIG. 5

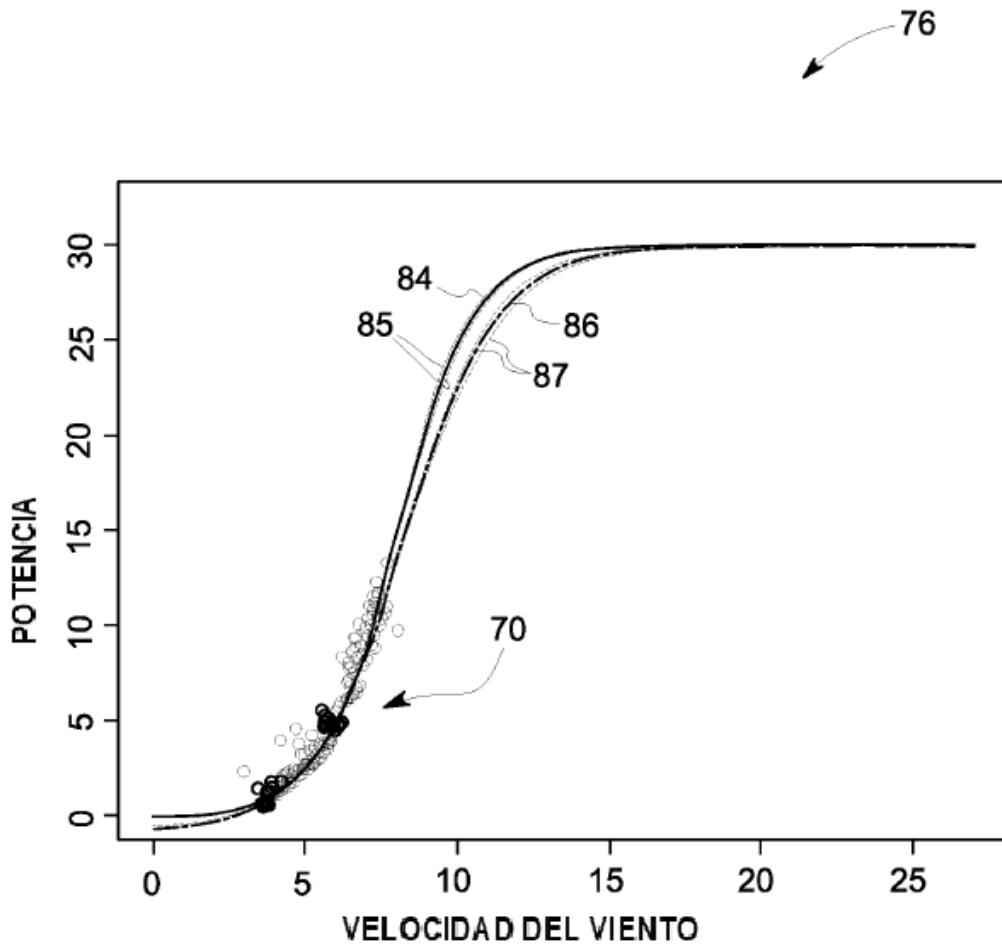


FIG. 6

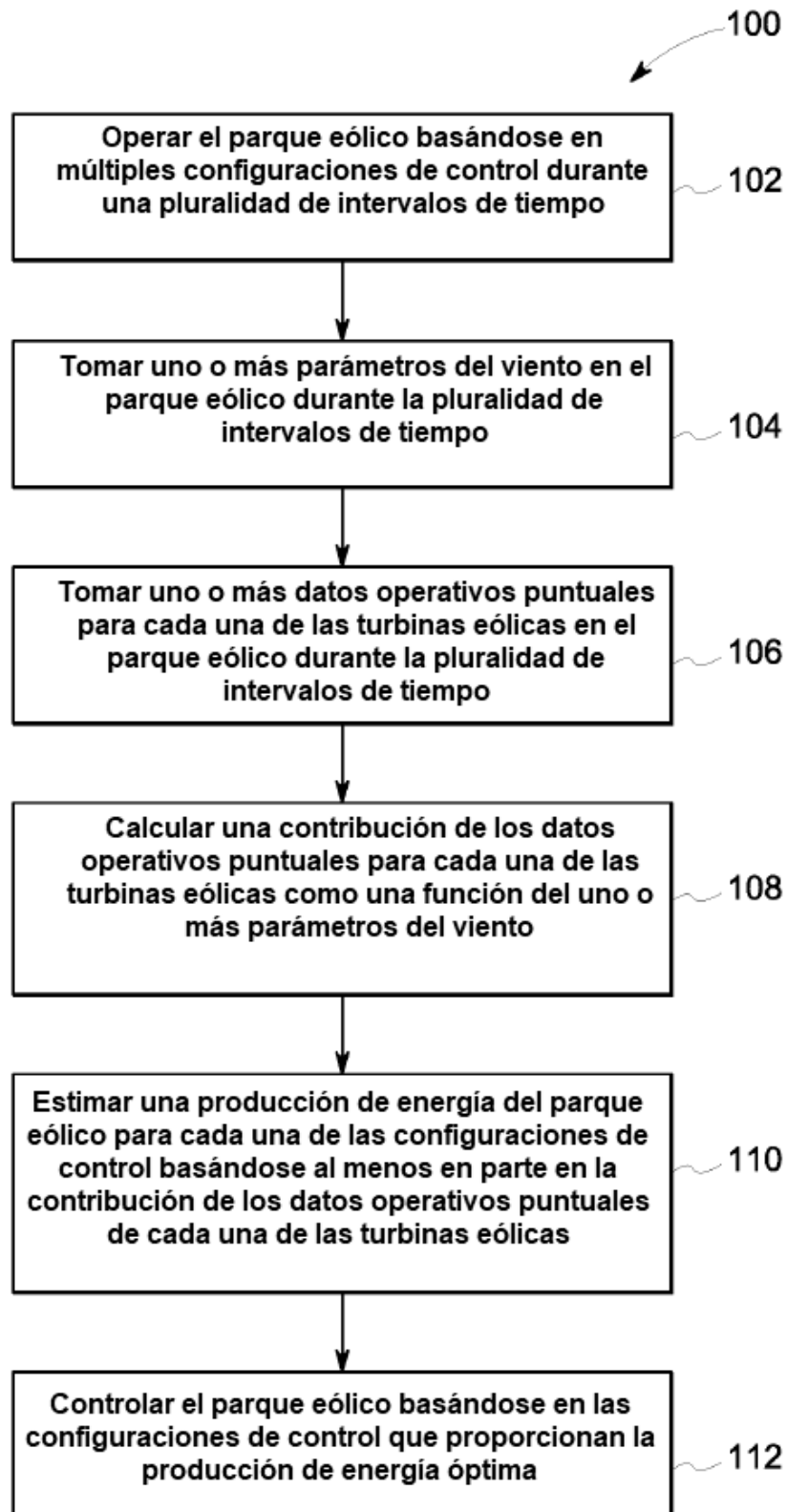


FIG. 7