(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 875 766**

(51) Int. CI.:

F03D 7/02 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2017 PCT/DK2017/050103**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **12.10.2017 WO17174089**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2017 E 17717071 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.06.2021 EP 3440346**

(54) Título: **Control de un aerogenerador teniendo en cuenta el ruido**

(30) Prioridad:

07.04.2016 DK 201670209

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2021

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

HAMMERUM, KELD;
HOVGAARD, TOBIAS GYBEL y
SLOTH, ERIK

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

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

Control de un aerogenerador teniendo en cuenta el ruido

Campo de la invención

La presente invención se refiere al control de aerogeneradores donde se tiene en cuenta una medida de ruido.

Antecedentes de la invención

En general, un aerogenerador o un parque de aerogeneradores se opera con el objetivo de obtener el máximo rendimiento del capital invertido en él y, en consecuencia, los sistemas de control de aerogenerador se configuran para maximizar la potencia de salida, es decir, para operar el aerogenerador para capturar la potencia máxima que está disponible en el viento, con la debida atención a mantener el aerogenerador dentro de los límites operativos.

Cuando un aerogenerador está funcionando genera ruido. Esto puede resultar problemático para los vecinos de los aerogeneradores. El ruido emitido desde un aerogenerador tiene dos contribuciones principales: el ruido producido por la parte de la máquina de los aerogeneradores (por ejemplo, la caja de cambios y el generador) y el sonido aerodinámico debido al flujo de aire a través de las palas del rotor.

Generalmente, la generación de ruido depende de los ajustes de los parámetros operativos específicos. No obstante, las condiciones atmosféricas son importantes en relación con la propagación del ruido en los alrededores. También, tales factores como la hora del día pueden ser importantes en cuanto a lo sensible que es el entorno al ruido.

Para manejar las emisiones de ruido la operación de la turbina está sujeta a cumplir con la regulación de ruido en muchos países en todo el mundo. Tal regulación de ruido puede variar algo de un país a otro. Los documentos US2013/0106107 y US2016/0032894 proporcionan ejemplos de control según el ruido o usando un controlador predictivo.

Compendio de la invención

Sería ventajoso controlar un aerogenerador de una manera que tenga en cuenta una medida de ruido prevista durante la operación del aerogenerador, y que use el estado operativo real en conexión con la operación continuada del aerogenerador con el fin de determinar la medida de ruido prevista.

Por consiguiente, en un primer aspecto, se proporciona un método según la reivindicación 1 de controlar un aerogenerador, que comprende:

recibir un estado operativo actual del aerogenerador;

en base al estado operativo actual, calcular una o más trayectorias operativas previstas, la una o más trayectorias operativas previstas incluyen una trayectoria de control prevista, donde una trayectoria comprende una serie de tiempo de al menos una variable;

determinar al menos una medida de ruido de al menos una trayectoria operativa prevista;

determinar una trayectoria de control en base a la al menos una medida de ruido; y

controlar el aerogenerador en base a la trayectoria de control.

En la presente invención, la operación de la turbina se basa en una trayectoria de control calculada. Una trayectoria es una serie de tiempo de una variable para un intervalo de tiempo dado, que incluye el siguiente valor de variable para el parámetro operativo relacionado con la variable, así como un número previsto o uno esperado de valores de variable futuros para el parámetro dado. Por ejemplo, la trayectoria de control puede ser una trayectoria de inclinación que incluye el siguiente comando de inclinación, así como un número esperado o uno previsto de comandos de inclinación futuros.

Un aerogenerador incluye un sistema de control para controlar los diversos componentes del aerogenerador, tales como el ajuste de inclinación de pala, los puntos de ajuste del convertidor de potencia, los motores de guiñada, etc. El nivel de ruido generado depende de las acciones de control impuestas.

En la presente invención, el sistema de control está dispuesto para determinar al menos una medida de ruido a partir de al menos una trayectoria operativa prevista, es decir, el sistema de control está dispuesto para determinar una medida de ruido prevista en base al estado operativo real y una operación prevista en un intervalo de tiempo futuro y controlar el aerogenerador en base a tal medida de ruido prevista o esperada.

Esto es una ventaja, dado que el impacto de ruido esperado de los alrededores se puede tener en cuenta en el control del aerogenerador directamente durante la operación real y en base a las condiciones reales. El impacto del

ruido se puede tener en cuenta, no solo para los ajustes operativos actuales del aerogenerador, sino para toda la duración de la trayectoria operativa prevista.

En la invención, las trayectorias operativas previstas se calculan optimizando al menos una función de coste, y en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la función de coste y/o como una o más restricciones usadas para la optimización.

El cumplimiento de la regulación de ruido a menudo es un compromiso entre lo cerca de los límites de ruido que se opera la turbina y cuánto se reduce la salida de potencia. Dado que, en la mayoría de las situaciones, cualquier medida que se toma para reducir la generación de ruido reducirá la salida de potencia, en la medida que la turbina necesita ser hecha funcionar con menos agresividad.

Tal compromiso se puede manejar ventajosamente incluyendo una medida de ruido en una función de coste o como una restricción correctamente establecida, dado que mediante funciones de coste y/o restricciones construidas correctamente, las matemáticas manejarán el compromiso en el proceso de optimización.

En realizaciones importantes, la una o más trayectorias operativas previstas se calculan usando una rutina de control de horizonte de retroceso, tal como una rutina de control predictivo de modelo (MPC), en tales realizaciones, la medida de ruido se puede calcular ventajosamente en el horizonte de predicción.

Se describen realizaciones adicionales en conexión con la sección Descripción de realizaciones.

En un segundo aspecto, la invención también se refiere a un método según la reivindicación 14 de control de una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores, que comprende:

seleccionar al menos un aerogenerador de la pluralidad de aerogeneradores;

recibir un estado operativo actual del aerogenerador seleccionado;

en base al estado operativo actual, calcular una o más trayectorias operativas previstas para el aerogenerador seleccionado, la una o más trayectorias operativas previstas incluyen una trayectoria de control prevista, donde una trayectoria comprende una serie de tiempo de al menos una variable;

determinar al menos una medida de ruido de al menos una trayectoria operativa prevista del aerogenerador seleccionado;

determinar una trayectoria de control en base a la al menos una medida de ruido; y

controlar el aerogenerador en base a la trayectoria de control.

En este aspecto, las realizaciones de la invención se refieren al manejo de ruido en una planta de energía eólica.

En aspectos adicionales, se proporciona un sistema de control para un aerogenerador, que comprende un controlador para llevar a cabo el método del primer aspecto, y un controlador de la planta de energía eólica dispuesto para controlar al menos unos aerogeneradores seleccionados según el método del segundo aspecto.

En general, un controlador puede ser una unidad o colección de unidades funcionales que comprende uno o más procesadores, interfaz o interfaces de entrada/salida y una memoria capaz de almacenar instrucciones que se pueden ejecutar por un procesador.

Los aspectos de la invención se pueden implementar mediante un producto de programa de ordenador que comprende un código de software adaptado para controlar un aerogenerador cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento de datos, para un controlador para un aerogenerador, para un controlador de parque de aerogeneradores que se implementa para controlar al menos turbinas seleccionadas del parque de aerogeneradores.

Además, la invención se refiere a un aerogenerador o una colección de aerogeneradores que se controlan según cualquiera de los diversos aspectos de la presente invención.

En general, las diversas realizaciones y aspectos de la invención se pueden combinar y acoplar de cualquier forma posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, características y/o ventajas de la invención serán evidentes y esclarecidos con referencia a las realizaciones descritas a continuación.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describirán, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que:

la Fig. 1 ilustra un ejemplo esquemático de un aerogenerador;

la Fig. 2 ilustra una realización ejemplar de un sistema de control junto con elementos de un aerogenerador;

la Fig. 3 muestra aspectos generales de una rutina de MPC en relación con trayectorias operativas.

la Fig. 4 ilustra esquemáticamente la relación entre la potencia generada de sonido de turbina y la presión de sonido en un punto de inmisión dado.

la Fig. 5 ilustra un diagrama de ejemplo de una determinación de la medida de ruido de las trayectorias de horizonte de retroceso;

la Fig. 6 ilustra esquemáticamente una planta de energía eólica WPP; y

la Fig. 7 ilustra un ejemplo de operación de una planta de energía eólica según las realizaciones.

Descripción de realizaciones

La figura 1 ilustra, en una vista esquemática en perspectiva, un ejemplo de un aerogenerador 1. El aerogenerador 1 incluye una torre 2, una góndola 3 dispuesta en el vértice de la torre, y un rotor 4 acoplado operativamente a un generador alojado en el interior de la góndola 3. Además del generador, la góndola aloja diversos componentes requeridos para convertir la energía eólica en energía eléctrica y diversos componentes necesarios para operar, controlar y optimizar el rendimiento del aerogenerador 1. El rotor 4 del aerogenerador incluye un buje central 5 y una pluralidad de palas 6 que se proyectan hacia fuera desde el buje central 5. En la realización ilustrada, el rotor 4 incluye tres palas 6, pero el número puede variar. Además, el aerogenerador comprende un sistema de control. El sistema de control se puede colocar en el interior de la góndola o distribuir en una serie de lugares en el interior de la turbina y conectar comunicativamente.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una realización de un sistema de control 20 junto con elementos de ejemplo de un aerogenerador. El aerogenerador comprende las palas de rotor 6 que están conectadas mecánicamente a un generador eléctrico 22 a través de la caja de cambios 23. La energía eléctrica generada por el generador 22 se inyecta en una red eléctrica 24 a través de un convertidor eléctrico 25. El generador eléctrico 22 y el convertidor 25 se pueden basar en una arquitectura de convertidor de escala completa (FSC) o una arquitectura de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), pero se pueden usar otros tipos.

El sistema de control comprende una serie de elementos, que incluyen al menos un controlador principal 200 con un procesador y una memoria, de modo que el procesador sea capaz de ejecutar tareas informáticas en base a instrucciones almacenadas en la memoria. En general, el controlador de aerogenerador asegura que en operación el aerogenerador genera un nivel de salida de potencia solicitado. Esto se obtiene ajustando el ángulo de inclinación y/o la extracción de energía del convertidor. Con este fin, el sistema de control comprende un sistema de inclinación que incluye un controlador de inclinación 27 que usa una referencia de inclinación 28, y un sistema de potencia que incluye un controlador de potencia 29 que usa una referencia de potencia 26. El rotor de aerogenerador comprende palas de rotor que se pueden inclinar mediante un mecanismo de inclinación. El rotor puede comprender un sistema de inclinación común que ajusta todos los ángulos de inclinación en todas las palas del rotor al mismo tiempo, así como, además del mismo, un sistema de inclinación individual que es capaz de la inclinación individual de las palas del rotor.

En realizaciones de la invención, el controlador principal 200 está programado para recibir un estado operativo actual del aerogenerador. En base al estado operativo actual, se calculan una o más trayectorias operativas previstas y se determina al menos una medida de ruido de al menos una trayectoria operativa prevista. Se determina una trayectoria de control en base a la medida del ruido; y el aerogenerador controlado en base a la trayectoria de control determinada.

En las realizaciones, las trayectorias operativas previstas y las trayectorias de control previstas se calculan usando una rutina de control predictivo de modelo (MPC).

La figura 3 muestra aspectos generales de una rutina de MPC en relación a una variable operativa medida *y* y una variable de control *u* calculada por MPC. La parte superior 30 de la figura muestra una trayectoria de estado para la variable *y* y la parte inferior 31 de la figura muestra una trayectoria de control para la variable de control *u*.

Las trayectorias operativas y las trayectorias de control pueden incluir, pero no se limitan a, uno o más de los siguientes parámetros: valor de inclinación, que incluye valores de inclinación colectivos y valores de inclinación individuales, velocidad del rotor, aceleración del rotor, movimiento de la torre, parámetros relacionados con la potencia, parámetros relacionados con el par y derivadas de estos parámetros.

En una realización, la trayectoria operativa es una trayectoria de estado operativo prevista. Un estado es una colección, a menudo expresada como un vector, de parámetros operativos. Un ejemplo de estado de aerogenerador es:

$$x^* = \begin{bmatrix} \theta(t) \\ \dot{\theta}(t) \\ \omega(t) \\ \dot{\omega}(t) \\ s(t) \\ \dot{s}(t) \\ \ddot{s}(t) \end{bmatrix}$$

que comprende el valor de inclinación, θ, la velocidad angular del rotor, ω, y la posición superior de la torre, s, así como las derivadas en el tiempo de esos parámetros. Se pueden usar otros y más parámetros para definir el estado del aerogenerador, x^*. En general, la trayectoria operativa incluye parámetros operativos que se usan para calcular la medida de carga de fatiga deseada.

Los valores de estado del estado operativo actual del aerogenerador se pueden basar en lecturas de sensores medidas de sensores dispuestos para medir datos de sensores con relación a los valores de estado físico del aerogenerador. Además, también se pueden usar valores estimados o valores calculados. En una realización, el estado se puede determinar mediante una calculadora de estado, por ejemplo, en forma de una unidad de cálculo dedicada a cargo de determinar el estado operativo actual, tal como un observador o un filtro Kalman.

La trayectoria también se puede expresar como una trayectoria de control. Una trayectoria de control de ejemplo puede ser:

$$u_1{}^* = \begin{bmatrix} \theta_{ref} \\ P_{ref} \end{bmatrix}$$

que comprende la señal de referencia de inclinación y la señal de referencia de potencia. Se pueden usar otros y más parámetros para definir la señal de control del aerogenerador, u_1^*.

La figura 3 muestra una trayectoria 33 de una variable medida y para una serie de pasos de tiempo discretos. La figura muestra el tiempo actual, k, así como una serie de pasos de tiempo pasado 34 y una serie de pasos de tiempo futuro 35 (a los que también se hace referencia como el horizonte de predicción y el horizonte de control para la variable de estado y y la variable de control u, respectivamente). Los valores de las variables conocidas, es decir, en base a valores ya medidos, se marcan con un círculo macizo, mientras que los valores de variables previstas se marcan con un círculo abierto. Una trayectoria puede comprender una serie de tiempo de valores previstos, es decir, solamente los círculos abiertos. La trayectoria no necesita incluir los valores pasados y conocidos, pero puede hacerlo en ciertas realizaciones. En particular, el valor actual 32 se puede incluir para trayectorias de variables medidas. La trayectoria puede abarcar una serie de tiempo de unos pocos segundos, tal como 5-10 segundos. No obstante, la trayectoria puede ser más larga o más corta dependiendo de la implementación dada.

Como ejemplo, la trayectoria muestra la velocidad del rotor ω en una situación donde se da un punto de ajuste para aumentar la velocidad del rotor. La trayectoria muestra la velocidad del rotor 32 actual junto con las velocidades del rotor futuras previstas. Los valores máximos y mínimos permitidos también se muestran para la variable ilustrada.

La figura 3 ilustra además un ejemplo de una trayectoria de control general 36 determinada mediante el uso de un algoritmo de MPC. La figura 3 ilustra la relación entre una trayectoria de estado operativo 33 y una trayectoria de control general 36.

Si bien se conoce el valor de orden k actual para las variables 32 medidas, el valor actual 37 de la trayectoria de control se calcula mediante el uso de la rutina de MPC.

La figura también muestra los valores máximos y mínimos permitidos para los valores de trayectoria de control de u.

Como ejemplo, la trayectoria muestra la trayectoria para el ángulo de inclinación, es decir, u = θ. De este modo, se da un punto de ajuste para aumentar la velocidad del rotor y, como consecuencia, se reduce el ángulo de inclinación. La trayectoria muestra el siguiente ajuste de inclinación 37 junto con los ajustes de inclinación futuros previstos para cumplir con el nuevo ajuste de punto de ajuste.

El MPC se basa en la optimización de horizonte finito iterativa. En el tiempo t, se muestrea el estado actual y se calcula una estrategia de control de minimización de costes para un horizonte de tiempo en el futuro: [t, t+T]. Solamente el primer valor previsto para la muestra actual k se usa en la señal de control, luego el estado de turbina se muestrea de nuevo y los cálculos se repiten comenzando desde el nuevo estado actual, produciendo una nueva trayectoria de control y una nueva trayectoria de estado prevista. El horizonte de predicción sigue siendo desplazado hacia el delante y, por esta razón, el MPC es un controlador de horizonte de retroceso.

El Control Predictivo de Modelo (MPC) es un algoritmo de control multivariable que usa una función de optimización de costes *J* sobre el horizonte de predicción de retroceso, para calcular los movimientos de control óptimos.

La función de optimización de coste puede estar dada por:

$$J = \sum_{i=1}^{N} w_{y_i} (r_i - y_i)^2 + w_{u_i} \Delta u_i^{\,2} + \rho\, n(u, y) \qquad \text{Ec. 1}$$

Con referencia a la Fig. 3, r_i es el punto de ajuste para la variable de orden i, y_1 y u_1 que son las variables de trayectoria de orden i, y w_{yi} que es la matriz de ponderación que define la importancia relativa de esta variable, y w_{ui} que es la matriz de ponderación que define la penalización relacionada con cambios en esta variable.

En la función de coste anterior, la medida de ruido se incluye en la función de coste como un elemento ponderado por la función $\rho\, n\,(u, y)$. La ponderación ρ se puede usar para establecer la importancia de la función de medida de ruido en el proceso de optimización.

En una realización, la medida de ruido usada en conexión con la optimización de la función de coste se puede definir como la potencia de sonido, L_{wA}.

$$\rho\, n(u, y) = \rho\, L_{wA}(u, y) = \rho\, (f(\theta) + g(\omega)) \qquad \text{Ec. 2}$$

La potencia de sonido L_{wA} se puede expresar como una expresión funcional que tiene en cuenta el ángulo de inclinación y la velocidad del rotor. El ángulo de inclinación se puede tener en cuenta mediante una función, $f(\theta)$ y la velocidad del rotor se puede controlar mediante una función $g(\omega)$.

La figura 4 ilustra esquemáticamente que la potencia de sonido L_{wA} generada por el aerogenerador 1 se puede expresar como presión de sonido L_{pA} en un punto de inmisión dado 40 mediante el uso de un modelo de pérdida de transmisión, o una función de pérdida de transmisión, TRL. Los modelos de pérdida de transmisión específicos se definen en estándares técnicos. Un ejemplo de tal estándar es el estándar ISO 9613-2.

La figura 5 ilustra un diagrama de ejemplo que muestra una realización de una determinación de una medida de ruido, aquí la potencia de sonido generada L_{wA} y la presión de sonido L_{pA} a partir de las trayectorias de horizonte de retroceso determinadas.

En la Fig. 3, el horizonte de predicción 35 de las trayectorias operativas 33, 36 se ilustraron para la velocidad de rotor 33 y para el ángulo de inclinación 36. Estos valores operativos futuros previstos se pueden introducir en una unidad de cálculo 50, posiblemente junto con otras variables de entrada, tales como la velocidad del viento, v, con el fin de determinar el nivel de ruido previsto sobre el horizonte de predicción. Aquí se ejemplifica como la potencia de sonido generada prevista sobre el horizonte de predicción 51. De esta manera, se determina una medida de ruido para el horizonte de predicción.

Mediante el uso de una función de pérdida de transmisión TRL, la medida de ruido sobre el horizonte de predicción se puede expresar para un punto de inmisión 52 dado.

En una realización, la al menos una medida de ruido se incluye en la optimización como una o más restricciones. Esta inclusión se puede hacer como una alternativa a incluir la medida de ruido en la función de coste en sí misma, o se puede incluir como una adición a la medida de ruido en la función de coste en sí misma. Esto puede depender de la implementación específica seleccionada para el problema de optimización.

En una realización, un criterio de optimización usado para optimizar la al menos una función de coste es un criterio de optimización para mantener la medida de ruido por debajo de un nivel predefinido. En una realización, esto se puede implementar mediante la función de coste, por una restricción establecida apropiadamente o mediante una combinación de las dos.

Típicamente, el problema de optimización se formula en términos de una función objetivo (una función de coste), así como una serie de restricciones (por ejemplo, límites máximo/mínimo, límites de tasa de cambio, etc.). Cuando se aplica tal esquema de control para la operación normal, la función objetivo se formula típicamente para proporcionar un compromiso entre el nivel de ruido y la producción de energía, y con ciertos parámetros operativos tales como la velocidad del rotor, la posición y velocidad de inclinación y el par del generador que se rigen por restricciones.

En una realización de ejemplo, el problema de optimización usado para la producción normal tiene la forma:

$$u^*(t) = argmin\, J_0(S(t), P(t), u(t)),$$

sujeto a las restricciones:

$$\omega_R \leq \Gamma_{\omega_R}$$

$$-5 \leq \theta_i \leq 90, i \in \{1,2,3\}$$

$$-20 \leq \dot{\theta}_i \leq 20, i \in \{1,2,3\}$$

$$P_E \leq 3\ MW$$

$$L_{\mathrm{pA}} \leq \textit{límite de ruido.}$$

La función *argmin* es el operador matemático estándar que representa el argumento del mínimo y encuentra puntos en el espacio de parámetros abarcado por *S*, *P*, *u* y *t* donde la función de coste J_0 alcanza su valor más pequeño. El parámetro $\Gamma_{\omega R}$ denota la velocidad nominal del rotor, θ_i el ángulo de inclinación (con derivada) y P_E se refiere a la potencia nominal de la turbina. Una restricción de ruido se establece de una manera donde se especifica que la presión de sonido debería estar por debajo de un límite de ruido dado en un punto de inmisión especificado. Tal límite de ruido se puede establecer como un umbral legal.

Aquí, la función nominal de coste J_0 proporciona un compromiso entre potencia (*P*) y cargas (*S*) usando la señal de control *u*(t), mientras que las restricciones limitan la velocidad del rotor, el ángulo de inclinación de pala, la velocidad de inclinación de pala, la potencia eléctrica y presión de sonido generada sobre el horizonte de predicción. La señal de control consistiría típicamente en ángulos de inclinación de palas y referencia de potencia para el convertidor:

$$u(t) = \begin{bmatrix} \theta_1(t) \\ \theta_2(t) \\ \theta_3(t) \\ P_{ref}(t) \end{bmatrix}$$

Implementando en el controlador una rutina de MPC para calcular la trayectoria de control se resuelve un problema de optimización en *N* pasos de tiempo (el horizonte de control y de predicción).

Como se muestra en conexión con Ec. 1, la medida de ruido se puede incluir en la función de coste mediante el uso de una ponderación, ρ. La ponderación se puede usar como una medida de sensibilidad del ruido generado por un aerogenerador. Por ejemplo, la ponderación se puede correlacionar con una condición atmosférica medida, tal como la velocidad de viento, lluvia, nieve u otros factores que influyen en la propagación del ruido entre el aerogenerador y un punto de inmisión dado. La ponderación también se puede correlacionar con un nivel de ruido de fondo medido, dado que el ruido de aerogenerador puede ser menos molesto si el ruido de fondo es alto.

La ponderación también se puede correlacionar con un nivel de ruido estimado determinado por un modelo de emisión de ruido de aerogenerador. De esta manera, si se usan parámetros operativos que no generan mucho ruido, la ponderación se puede ajustar para ser baja o incluso cero con el fin de no tenerlo en cuenta en el control del aerogenerador. Alternativamente, si el nivel de ruido generado es alto o cercano a un umbral dado, la ponderación se puede establecer alta para asegurar que el aerogenerador se opere en consecuencia.

En las realizaciones, la ponderación se puede correlacionar con una función de la hora del día y/o una fecha. De esta manera, la turbina, por ejemplo, se puede establecer para generar más ruido durante el día o durante los días laborables donde el entorno puede ser menos sensible al ruido generado, y para generar menos ruido durante la noche u otras horas en las que el entorno es más sensible al ruido generado.

Como se muestra en la Figura 5, el nivel de ruido se puede establecer como un umbral 53 sobre el horizonte de predicción. Tal umbral se puede usar como criterio de optimización para mantener la presión de sonido generada en o por debajo de un nivel predefinido. En una realización, el nivel predefinido se recibe como entrada desde una fuente externa. Tal fuente externa puede ser un micrófono externo o una unidad externa que monitoriza el nivel de ruido o sensibilidad al ruido en un punto de inmisión. Los puntos de inmisión se pueden proporcionar sobre una base continua para una adaptación continua a una situación de ruido en tiempo real en uno o más puntos de inmisión.

El nivel predefinido se puede establecer de manera variable dependiendo de varios parámetros. Por ejemplo, el nivel predefinido se puede correlacionar con una función de la hora del día y/o una fecha o con un nivel de ruido de fondo medido.

En una realización, la medida de ruido puede incluir uno o más componentes tonales. Por ejemplo, la medida de ruido puede tener en cuenta frecuencias o amplitudes específicas del ruido generado. Por ejemplo, la Ec. 2 se puede formular para incluir una dependencia tonal. En general, esto se puede hacer incluyendo una dependencia funcional entre la velocidad del rotor y/o el ángulo de inclinación establecido en el nivel de ruido generado a una frecuencia

dada. No obstante, también se puede implementar ponderando la medida de ruido con un perfil de frecuencia dado para disminuir el efecto del ruido en ciertos intervalos de frecuencia y mejorar el efecto del ruido en otros intervalos de frecuencia. En una realización, la turbina también puede incluir una tabla de búsqueda o similar que en base a las emisiones de ruido medidas, proporcione un factor de ponderación para ser combinado con, o para sustituir, el factor de ponderación ρ mostrado.

El aerogenerador 1 se puede incluir entre una colección de otros aerogeneradores pertenecientes a una planta de energía eólica 60, a la que también se hace referencia como granja eólica o parque eólico.

La figura 6 ilustra esquemáticamente una planta de energía eólica WPP 60. En una realización de la invención, la planta de energía eólica se puede controlar seleccionando al menos un aerogenerador de la pluralidad de aerogeneradores y en base al estado operativo del aerogenerador seleccionado, calcular las trayectorias operativas previstas, y determinar al menos una medida de ruido de la trayectoria operativa prevista del aerogenerador seleccionado, y controlar el aerogenerador en consecuencia. La turbina seleccionada puede ser cualquiera, cualquier grupo de, o todos los aerogeneradores de la planta de energía eólica.

La figura 6 muestra dos puntos de inmisión 62, 63. La medida de ruido se puede determinar como una medida de ruido agregada, tal como una presión de sonido agregada, en un punto de inmisión especificado. En este sentido, en un primer paso, se puede determinar la potencia de sonido L_{wA} para cada aerogenerador y en un segundo paso, la función de pérdida de transmisión se puede usar individualmente entre cada turbina y el punto de inmisión para determinar una presión agregada en el punto de inmisión seleccionado.

En una realización, la una o más trayectorias operativas previstas para el al menos un aerogenerador seleccionado se calculan optimizando al menos una función de coste, y en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la función de coste y/o la al menos una medida de ruido se incluye en la optimización como una o más restricciones de una manera descrita para una única turbina. Mediante funciones de coste definidas correctamente y/o restricciones establecidas correctamente, la operación de las turbinas individuales en un parque eólico se puede ajustar continuamente con el fin de asegurar niveles de ruido especificados en uno o más puntos de inmisión.

El objetivo de optimización puede ser optimizar la potencia de salida de la planta de energía eólica bajo la restricción de que la presión de sonido debería estar por debajo de los umbrales legales para los puntos de inmisión seleccionados. Como en la situación de una única turbina, los puntos de inmisión se pueden alimentar externamente de manera continua desde una fuente externa para adaptación continua a una situación de ruido en tiempo real en uno o más puntos de inmisión.

La figura 7 ilustra un ejemplo esquemático de operación de una planta de energía eólica que logra este objetivo de optimización. La figura muestra dos intervalos de tiempo 70, 71. En la Fig. 7A, en el primer intervalo de tiempo 70, un nivel de ruido, expresado como presión de sonido en un punto de inmisión dado, está en un umbral 73 dado, mientras que en el segundo intervalo de tiempo 71 el nivel de ruido cae por debajo del umbral, por ejemplo, debido a un cambio de dirección del viento. La Fig. 7B muestra un posible efecto sobre la potencia de salida P de la planta de energía eólica a partir de esto. En el primer intervalo de tiempo 70, al menos algunas de las turbinas individuales se reducen para asegurar que la planta de energía eólica no exceda el umbral 73. Esto da como resultado que el nivel de potencia agregada P en el primer período de tiempo 70 es menor que el nivel de potencia nominal 72. En el segundo período de tiempo 71, la presión de sonido en el punto de inmisión cae por debajo del umbral especificado 73 y, como resultado los aerogeneradores se pueden operar a su salida nominal 72.

De este modo, la figura ilustra un compromiso resultante entre la potencia de salida y la generada que es el resultado del proceso de optimización.

La figura también es aplicable para la operación de una única turbina, con las modificaciones apropiadas.

En las realizaciones, los aspectos generales de las realizaciones de la presente invención se pueden implementar en un controlador de planta de energía de aerogenerador 61 dispuesto para controlar uno o más aerogeneradores de una planta de energía eólica. En tal realización, el controlador de parque eólico puede controlar uno o más aerogeneradores seleccionados. El controlador de planta de energía de aerogenerador se puede implementar de una manera distribuida, donde partes del controlador se implementan en el aerogenerador mientras que otras partes del controlador se implementan en el controlador de planta de energía eólica.

Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con las realizaciones especificadas, no se debería interpretar como que está limitada de ninguna forma a los ejemplos presentados. La invención se puede implementar por cualquier medio adecuado; y el alcance de la presente invención se ha de interpretar a la luz del conjunto de reivindicaciones que se acompaña. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no se debería interpretar como una limitación del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método de control de un aerogenerador, que comprende:

recibir un estado operativo actual del aerogenerador;

en base al estado operativo actual, calcular una o más trayectorias operativas previstas, la una o más trayectorias operativas previstas incluyen una trayectoria de control prevista, donde una trayectoria comprende una serie de tiempo de al menos una variable;

determinar al menos una medida de ruido a partir de al menos una trayectoria operativa prevista;

determinar una trayectoria de control en base a la al menos una medida de ruido; y

controlar el aerogenerador en base a la trayectoria de control,

en donde una o más trayectorias operativas previstas se calculan optimizando al menos una función de coste, y en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la función de coste, y/o en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la optimización como una o más restricciones.

2. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la una o más trayectorias operativas previstas son trayectorias de horizonte de retroceso con un horizonte de predicción, y en donde la al menos una medida de ruido se determina para el horizonte de predicción.

3. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la una o más trayectorias operativas previstas se calculan usando una rutina de control predictivo de modelo (MPC).

4. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la medida de ruido se determina mediante un modelo de emisión de ruido de aerogenerador para predecir el ruido del aerogenerador como una función de uno o más parámetros operativos sobre el horizonte de predicción.

5. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el modelo de emisión de ruido de aerogenerador está dispuesto para calcular el nivel de ruido en un punto de inmisión especificado.

6. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la función de coste comprende un elemento ponderado que incluye la al menos una medida de ruido.

7. El método según la reivindicación 6, en donde la ponderación se correlaciona con una condición atmosférica medida o en donde la ponderación se correlaciona con un nivel de ruido de fondo medido.

8. El método según la reivindicación 6 o 7, en donde la ponderación se correlaciona con un nivel de ruido estimado determinado por un modelo de emisión de ruido de aerogenerador.

9. El método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8 en donde la ponderación se correlaciona con una función de la hora del día y/o una fecha.

10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un criterio de optimización usado para optimizar la al menos una función de coste es un criterio de optimización para mantener la medida de ruido en o por debajo de un nivel predefinido.

11. El método según la reivindicación 10, en donde el nivel predefinido se recibe como entrada de una fuente externa.

12. El método según la reivindicación 10 en donde el nivel predefinido está correlacionado con una función de la hora del día y/o una fecha o en donde el nivel predefinido está correlacionado con un nivel de ruido de fondo medido.

13. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la medida de ruido incluye uno o más componentes tonales.

14. Un método de control de una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores, que comprende:

seleccionar al menos un aerogenerador de la pluralidad de aerogeneradores;

recibir un estado operativo actual del aerogenerador seleccionado;

en base al estado operativo actual, calcular una o más trayectorias operativas previstas para el aerogenerador seleccionado, la una o más trayectorias operativas previstas incluyen una trayectoria de control prevista, donde una trayectoria comprende una serie de tiempo de al menos una variable;

determinar al menos una medida de ruido de al menos una trayectoria operativa prevista del aerogenerador seleccionado;

determinar una trayectoria de control en base a la al menos una medida de ruido; y

controlar el aerogenerador en base a la trayectoria de control,

en donde la una o más trayectorias operativas previstas para el al menos un aerogenerador seleccionado se calculan optimizando al menos una función de coste, y en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la función de coste y/o la al menos una medida de ruido se incluye en la optimización como una o más restricciones.

15. El método según la reivindicación 14, en donde se determina una medida de ruido agregada para un punto de inmisión especificado en base a una serie de medidas de ruido determinadas para los aerogeneradores seleccionados.

16. Un sistema de control para un aerogenerador, que comprende:

un controlador dispuesto para recibir un estado operativo actual del aerogenerador y, en base al estado operativo actual calcular una o más trayectorias operativas previstas, la una o más trayectorias operativas previstas incluyen una trayectoria de control prevista, donde una trayectoria comprende una serie de tiempo de en al menos una variable;

en donde el sistema controlador está dispuesto además para determinar al menos una medida de ruido de al menos una trayectoria operativa prevista y determinar una trayectoria de control en base a la al menos una medida de ruido, en donde la una o más trayectorias operativas previstas se calculan optimizando al menos una función de coste, y en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la función de coste, y/o en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la optimización como una o más restricciones; y

controlar el aerogenerador en base a la trayectoria de control.

17. Un controlador de planta de energía eólica dispuesto para controlar uno o más aerogeneradores de una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores, el controlador de planta de energía eólica que comprende:

un controlador dispuesto para seleccionar al menos un aerogenerador de la pluralidad de aerogeneradores, y recibir un estado operativo actual del aerogenerador seleccionado y en base al estado operativo actual calcular una o más trayectorias operativas previstas para el aerogenerador seleccionado, la o más trayectorias operativas previstas incluyen una trayectoria de control prevista, donde una trayectoria comprende una serie de tiempo de al menos una variable;

en donde el sistema controlador está dispuesto además para determinar al menos una medida de ruido de al menos una trayectoria operativa prevista del aerogenerador seleccionado, en donde la una o más trayectorias operativas previstas para el al menos un aerogenerador seleccionado se calculan optimizando al menos una función de coste, y en donde la al menos una medida de ruido se incluye en la función de coste y/o la al menos una medida de ruido se incluye en la optimización como una o más restricciones; y

controlar al menos los aerogeneradores seleccionados en base a la trayectoria de control.

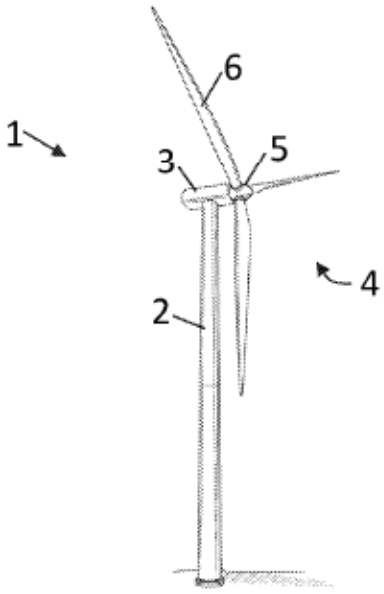

1
2
3
4
5
6

Fig. 1

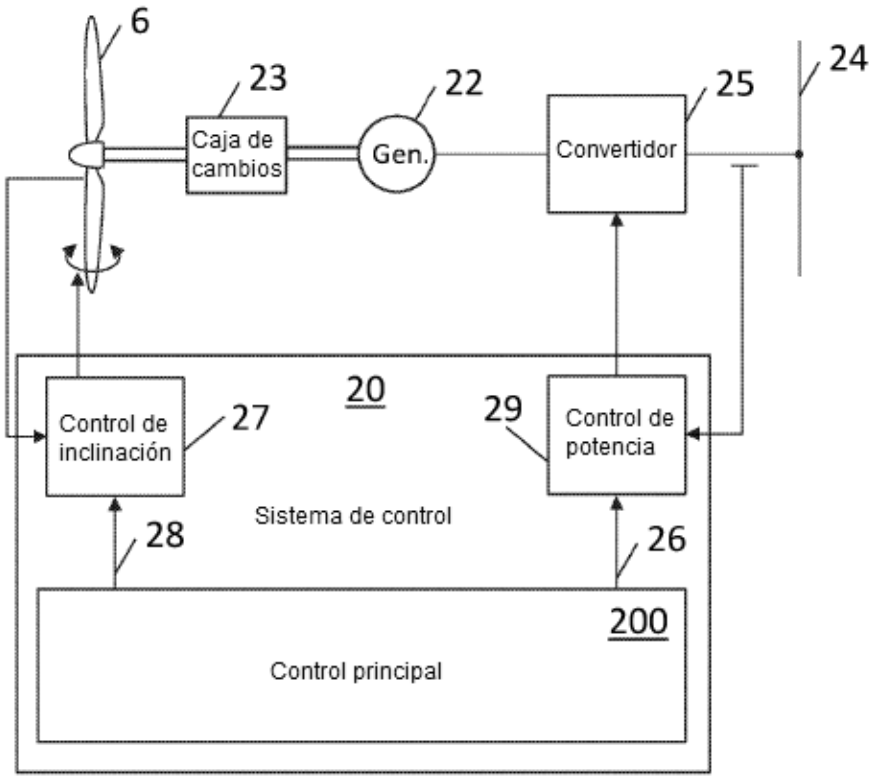

6
23
Caja de cambios
22
Gen.
25
Convertidor
24
20
Control de inclinación
27
29
Control de potencia
Sistema de control
28
26
200
Control principal

Fig. 2

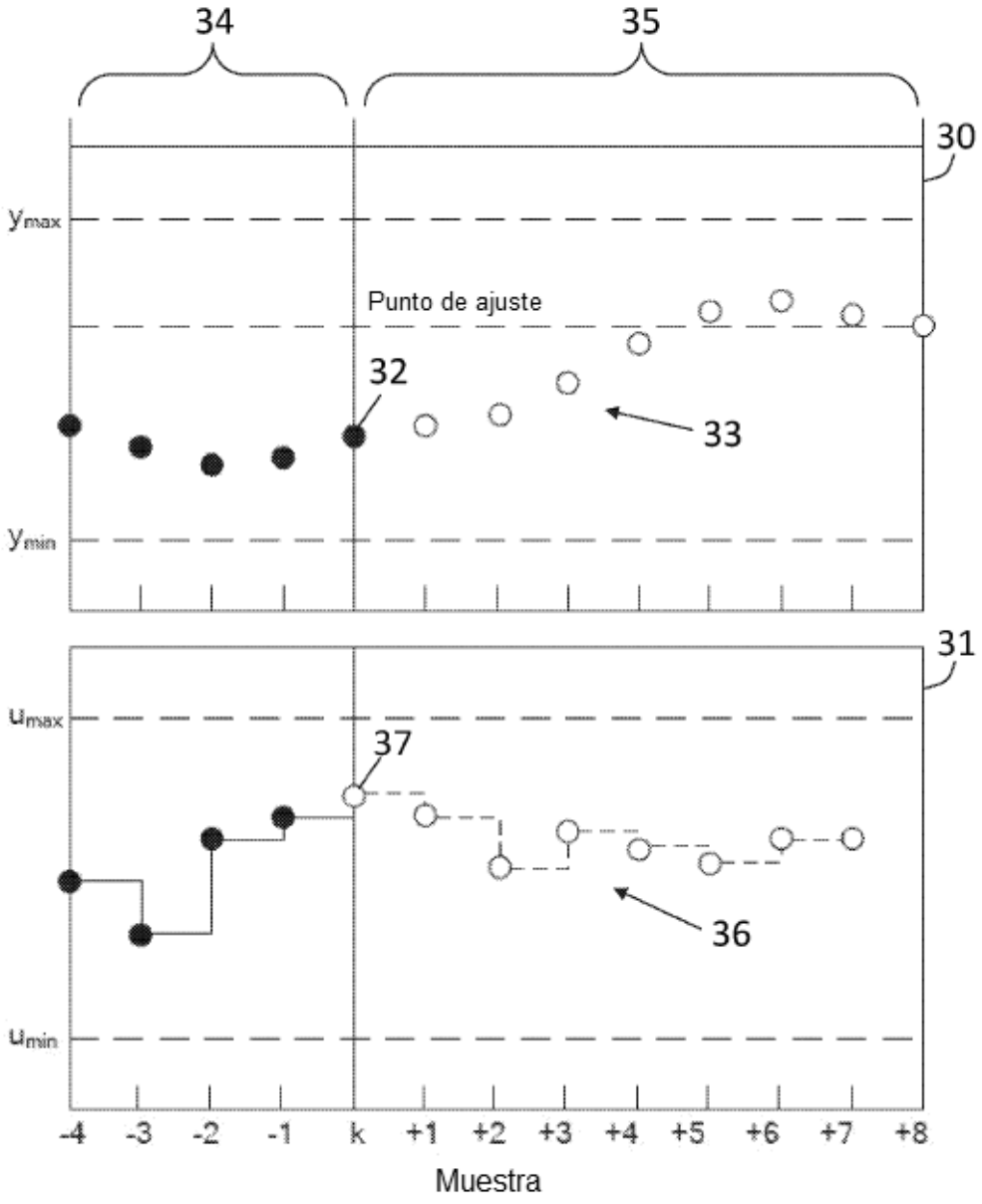

34
35
30
y_{max}
Punto de ajuste
32
33
y_{min}
31
u_{max}
37
36
u_{min}
-4
-3
-2
-1
k
+1
+2
+3
+4
+5
+6
+7
+8
Muestra

Fig. 3

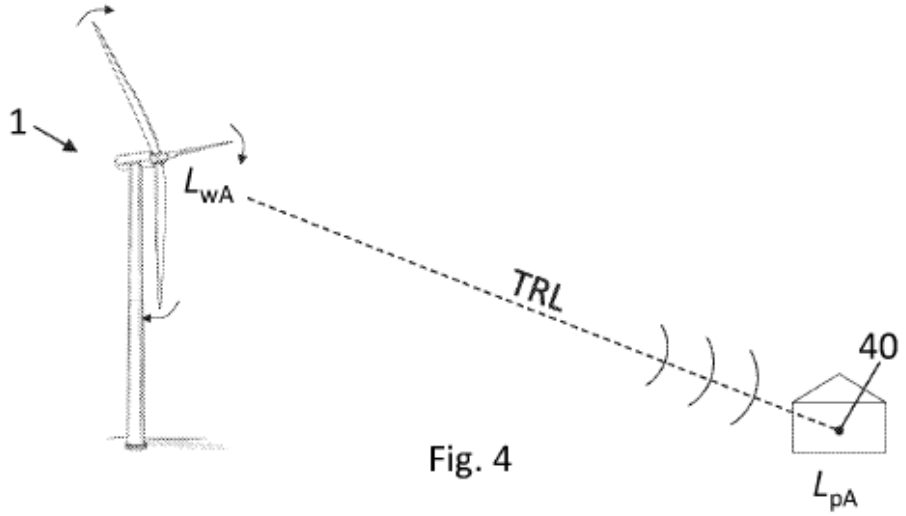


Fig. 4

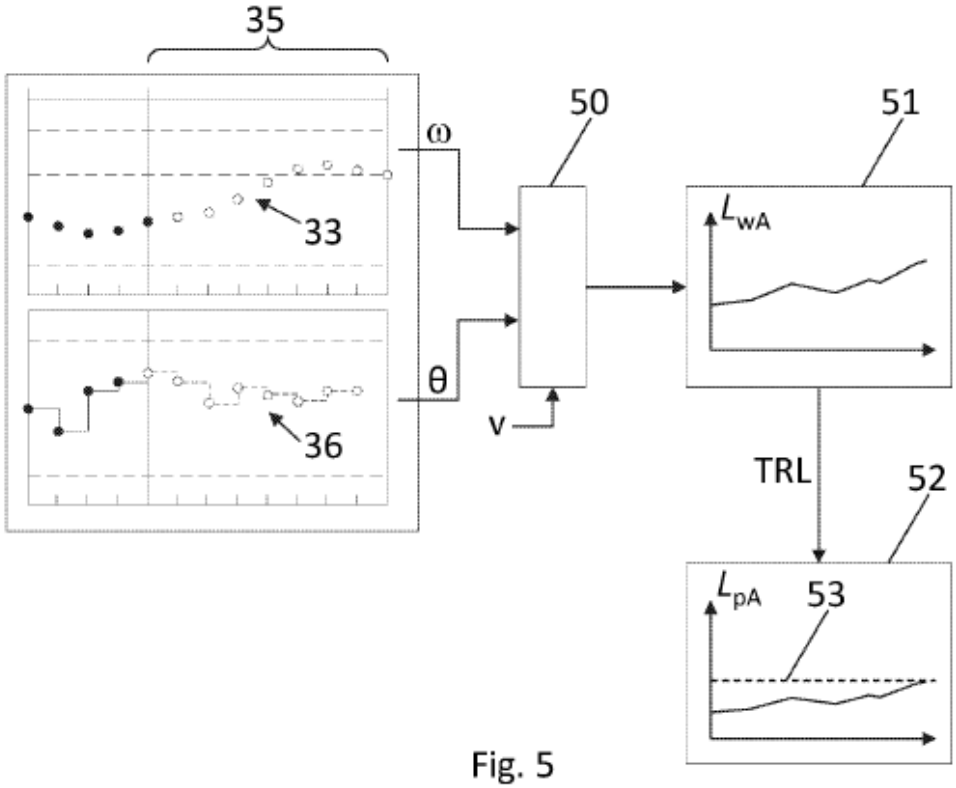


Fig. 5

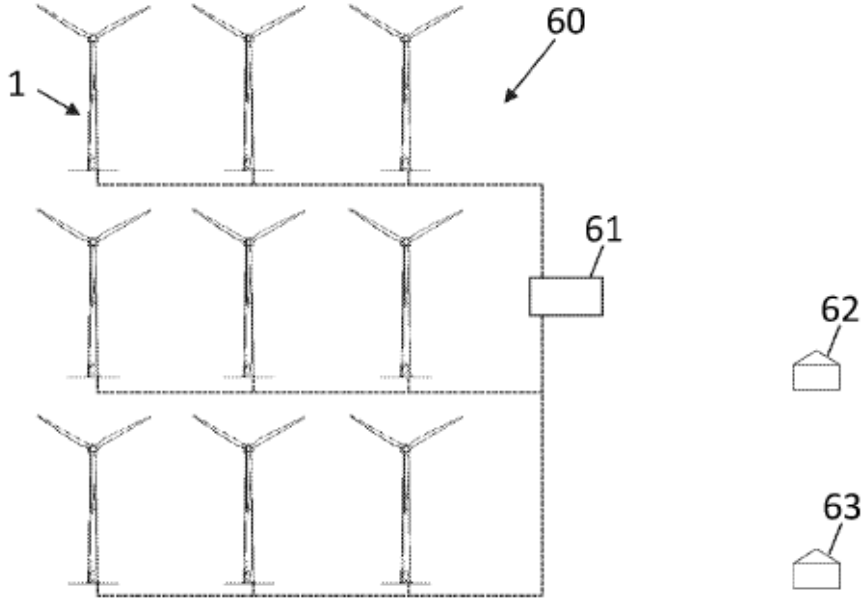


Fig. 6

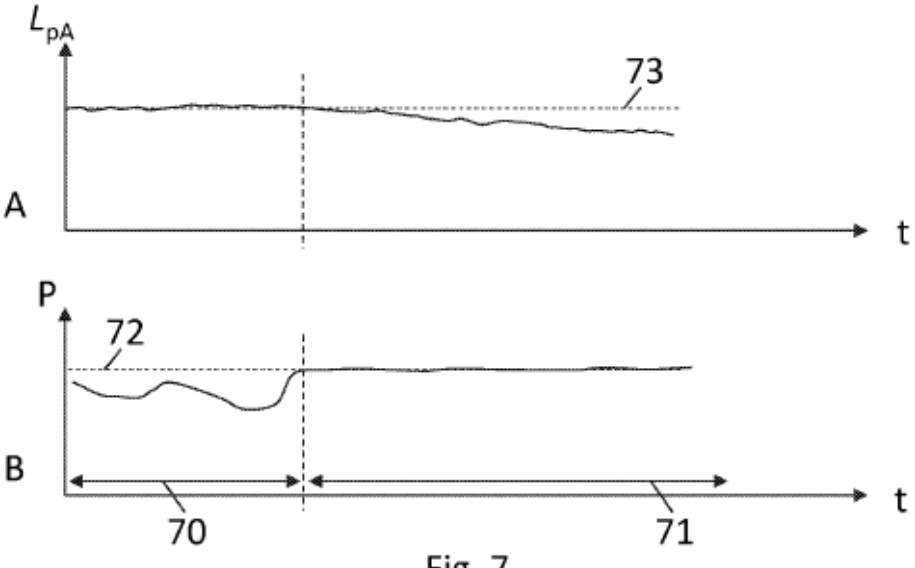


Fig. 7