

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 867 877**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2016 PCT/DK2016/050373**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2017 WO17084675**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2016 E 16801375 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.04.2021 EP 3377760**

54 Título: **Control de una turbina eólica durante recuperación después de un fallo de red**

30 Prioridad:

**19.11.2015 DK 201570743**

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

**21.10.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KJÆR, MARTIN ANSBJERG;  
ØSTERGAARD, KASPER ZINCK y  
GRAUGAARD-JENSEN, JAN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 867 877 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**

Control de una turbina eólica durante recuperación después de un fallo de red

**5 Campo de la invención**

La actual invención se refiere al control de una turbina eólica, y en particular se refiere al control de una turbina eólica durante un periodo de recuperación después de un fallo de red.

**10 Antecedentes de la invención**

Las empresas de red de servicio exponen las estrategias y requisitos para la conexión de turbinas eólicas a la red de servicio. Estos requisitos de conexión se describen en los denominados códigos de red. Los códigos de red varían dependiendo de la ubicación geográfica de la red de servicio.

15 Uno de los temas tratados en los códigos de red es la capacidad de una turbina eólica cuando la red de servicio experimenta un fallo. Un requisito puede ser que la turbina eólica permanezca conectada y sincronizada con la red de servicio durante el fallo de red, al menos para algunos tipos de fallos.

20 Cuando una turbina eólica experimenta un fallo de red de servicio, la velocidad del generador aumenta casi inmediatamente como resultado de la excesiva potencia aerodinámica que no puede convertirse en potencia eléctrica. Por tanto, la potencia aerodinámica debe reducirse drásticamente durante todo el periodo del fallo de red de servicio. Durante la condición de fallo, la turbina se hace funcionar en un modo de fallo.

25 Tras la recuperación de la red de servicio, la turbina eólica necesita recuperarse del modo de fallo y reanudar el funcionamiento normal.

30 En el artículo "Substantial control strategies of DFIG wind power system during grid transient faults" de Le e Islam, publicado en la conferencia y exposición de transmisión y distribución, 2008, págs. 1-13; ISBN: 978-1-4244-1903-6, se da a conocer un modelo dinámico de un generador eólico DFIG para soportar el control de turbinas eólicas durante eventos de fallo de red transitorios.

Es en estos antecedentes que se ha ideado la invención.

**35 Sumario de la invención**

Sería ventajoso lograr una solución en la que una vez finalizado el fallo de red, las turbinas reanuden rápidamente el funcionamiento normal de acuerdo con los requisitos del código de red.

40 Por consiguiente, en un primer aspecto, se proporciona un método para controlar una turbina eólica conectada a una red de servicio, la turbina eólica comprende palas de rotor, comprendiendo el método:

detectar un fallo de la red de servicio;

45 controlar una o más palas de rotor en un modo de fallo;

detectar una recuperación de la red de servicio;

50 controlar durante un periodo de recuperación, una o más palas de rotor en un modo de recuperación, en el que el modo de recuperación comprende:

determinar un ángulo de paso real de cada una de las palas de rotor;

55 determinar una velocidad del viento real;

determinar un ángulo de paso deseado de cada una de las palas de rotor según la velocidad del viento real;

60 determinar una tasa de cambio de paso de cada una de las palas de rotor de modo que el ángulo de paso real coincida con el ángulo de paso deseado antes del final del periodo de recuperación, y

cambiar el ángulo de paso de cada una de las palas de rotor con la tasa de cambio de paso determinada;

caracterizado porque el método comprende además:

65 determinar una potencia de salida deseada de la turbina eólica según la velocidad del viento real;

determinar una tasa de cambio de la potencia de salida de modo que la potencia de salida coincida con la potencia de salida deseada antes del final del período de recuperación, y

5 cambiar la potencia de salida con la tasa de cambio determinada en el que la tasa de cambio de la potencia de salida y la tasa de cambio de paso se nivelan de modo que la potencia de salida alcance la potencia de salida deseada al mismo tiempo que el ángulo de paso alcanza el ángulo de paso deseado.

10 Al final del período de fallo, la turbina debe reanudar el funcionamiento normal. En realizaciones de la presente invención esto puede obtenerse dentro de una duración predefinida del período de recuperación, dado que se tiene en cuenta la situación real de la turbina en el momento de la recuperación. De esta manera, puede garantizarse que, independientemente del estado de la turbina anterior al evento de fallo o en el final del período de fallo, el ángulo de paso alcance un ángulo de paso deseado según la velocidad del viento real dentro de una duración predefinida del período de recuperación.

15 En una realización, las etapas realizadas en el modo de recuperación se repiten a intervalos durante el período de recuperación, tal como en cada muestra del controlador de turbina. De esta manera, la tasa de cambio de paso se adapta a la velocidad del viento real en todo el período de recuperación, y se garantiza la recuperación dentro de una duración predefinida del período de recuperación.

20 En aspectos adicionales, se proporciona un sistema de control que se implementa para llevar a cabo el método del primer aspecto, así como una turbina eólica que comprende el sistema de control.

25 Además, en un aspecto adicional más se proporciona un producto de programa informático, el producto de programa informático que comprende código de software adaptado para controlar una turbina eólica cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento de datos, estando el producto de programa informático implementado para controlar una turbina eólica según cualquier otro aspecto.

30 El producto de programa informático puede proporcionarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones para hacer que un sistema de procesamiento de datos, por ejemplo, en forma de un controlador, lleve a cabo la instrucción cuando se carga en el sistema de procesamiento de datos.

35 En general, los diversos aspectos de la invención pueden combinarse y acoplarse de cualquier manera posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, características y/o ventajas de la invención serán evidentes a partir de y elucidadas con referencia a las realizaciones descritas a continuación en el presente documento.

### Breve descripción de los dibujos

Se describirán realizaciones de la invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que

40 la figura 1 ilustra un ejemplo de una turbina eólica;

la figura 2 ilustra una realización de elementos de un sistema de control;

45 la figura 3 ilustra ejemplos esquemáticos de curvas de parámetros; y

la figura 4 ilustra un ejemplo esquemático de ajustes de ángulo de paso antes, durante y después de un fallo de red.

### Descripción de las realizaciones

50 La figura 1 ilustra, en un vista en perspectiva esquemática, un ejemplo de una turbina eólica 1. La turbina eólica 1 incluye una torre 2, una góndola 3 dispuesta en el ápice de la torre, y un rotor 4 acoplado de manera operativa a un generador alojado dentro de la góndola 3. Además del generador, la góndola aloja diversos componentes necesarios para convertir energía eólica en energía eléctrica y diversos componentes necesarios para hacer funcionar, controlar, y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 1. El rotor 4 de turbina eólica incluye un buje central 5 y una pluralidad de palas 6 que sobresalen hacia el exterior desde el buje central 5. En la realización ilustrada, el rotor 4 incluye tres palas 6, pero el número puede variar. Además, la turbina eólica comprende un sistema de control. El sistema de control puede colocarse dentro de la góndola o distribuirse en varias ubicaciones dentro de (o externamente a) la turbina y conectado comunicativamente.

60 La figura 2 ilustra de manera esquemática una realización de elementos de un sistema de control 20 junto con elementos de una turbina eólica. La turbina eólica comprende palas de rotor 21 que se conectan mecánicamente a un generador eléctrico 22 a través de la caja de engranajes 23. En sistemas de accionamiento directo y otros sistemas, la caja de engranajes puede no estar presente. La potencia eléctrica generada por el generador 22 se inyecta en una red de servicio 24 a través de un convertidor eléctrico 25. El generador eléctrico 22 puede ser un generador de inducción doblemente alimentado, pero pueden usarse otros tipos de generadores.

El sistema de control 20 comprende varios elementos, que incluyen al menos un controlador 200 con un procesador y una memoria, de modo que el procesador es capaz de ejecutar tareas informáticas basándose en instrucciones almacenadas en la memoria. En general, el controlador de turbina eólica garantiza que, en funcionamiento, la turbina eólica genere un nivel de salida de potencia solicitado. Esto se obtiene ajustando el ángulo de paso y/o la extracción de potencia del convertidor. Con este fin, el sistema de control comprende un sistema de paso que incluye un controlador de paso 27 que usa una referencia de paso 28, y un sistema de potencia que incluye un controlador de potencia 29 que usa una referencia de potencia 26. El rotor de turbina eólica comprende palas de rotor que pueden regularse en paso mediante un mecanismo de paso. El rotor puede comprender un sistema de paso común que ajusta todos los ángulos de paso de todas las palas de rotor al mismo tiempo, además de lo cual puede estar presente un sistema de paso individual capaz de regular el paso individualmente de las palas de rotor.

La figura 3 ilustra ejemplos esquemáticos de la potencia,  $P$ , la velocidad del generador,  $\omega$ , y el ángulo de paso,  $\theta$ , en función de la velocidad del viento,  $w_s$ .

El control de la turbina eólica puede hacerse según un esquema de control que se divide en control de carga parcial, PLC, y control de carga completa, FLC. En el control de carga parcial, la velocidad del viento está por debajo de la velocidad del viento nominal,  $w_{ws}$ , y el controlador de turbina eólica puede ajustar el paso de las palas a un ángulo de paso aerodinámicamente óptimo 30, normalmente alrededor de cero grados.

Durante el control de carga parcial, el valor de paso específico,  $\theta$ , se determina basándose en la velocidad del viento y la velocidad del rotor de rotación, y el controlador de paso 27 regula el paso de las palas según este valor. Mientras tanto, un controlador de velocidad compara la velocidad de rotación con una velocidad del rotor óptima y ajusta la potencia eléctrica 29 en consecuencia. Una vez que la turbina eólica ha alcanzado su valor nominal,  $w_{ws}$ , se cambia el funcionamiento a control de carga completa, en este caso la pala se regula en paso progresivamente 31 fuera del viento para evitar el exceso de velocidad del generador y/o funcionamiento inseguro de la turbina, a medida que aumenta la velocidad del viento.

La figura 3 ilustra el ángulo de paso común que se establece en todas las palas de rotor. Además de este ajuste de paso, algunas turbinas pueden estar equipadas con un sistema de paso individual que usa el paso para compensar las cargas asimétricas en el rotor y el rodamiento principal. Una señal de paso de este tipo se superpone encima de la señal de paso común.

Realizaciones de la presente invención abordan la situación donde se produce un fallo de red, GF, a una primera velocidad del viento, y donde las condiciones del viento han cambiado o bien durante el fallo o bien durante el período de recuperación, de modo que el período de recuperación, GR, termina en un lugar diferente en las curvas de parámetros.

En las realizaciones ilustradas en las figuras 3 y 4, el fallo de red se produce cuando la turbina eólica se controla en funcionamiento de carga parcial donde la velocidad del viento está por debajo de la velocidad del viento nominal para la turbina eólica. Las realizaciones de la presente invención también pueden aplicarse en funcionamiento de carga completa, sin embargo, en los esquemas de control de FLC, existe donde la turbina no está controlada de tal manera que los ángulos de paso siguen una curva dada, en su lugar la turbina puede controlarse para mantener la velocidad del rotor constante y la potencia en el punto de ajuste de potencia ajustando el ángulo de paso para lograr esto. Por lo tanto, en realizaciones, el sistema de control dado a conocer solo puede usarse para funcionamiento de carga parcial, mientras que un esquema de control alternativo para la recuperación de red se usa para el funcionamiento de carga completa.

La figura 4 ilustra un ejemplo esquemático de ajustes de ángulo de paso antes, durante y después de un fallo de red. La figura 4 ilustra una realización de un fallo de red que se produce en el momento  $t_1$ . Un ejemplo de fallo de red puede ser el denominado evento de baja tensión donde el código de red requiere que las turbinas permanezcan conectadas a la red, siempre y cuando el fallo se limite a un intervalo de tiempo dado, normalmente por debajo de unos pocos cientos de milisegundos. Esto a veces se denomina como que la turbina debe ser capaz de proporcionar la funcionalidad de capacidad de respuesta de baja tensión (LVRT). Este fallo se ejemplifica por la curva GP que ilustra de manera esquemática la potencia de red en función del tiempo,  $t$ , donde la potencia de red se pierde en el momento  $t_1$  y se recupera en el momento  $t_2$ . El código de red puede especificar un período de recuperación dado 40 antes del cual la turbina debe haber reanudado el funcionamiento normal, en este caso se muestra como antes del momento  $t_3$ .

El sistema de control de la turbina puede implementarse para detectar un fallo de la red de servicio. Esto puede hacerse recibiendo una señal de un controlador de la planta de potencia o por cualquier otro medio adecuado. En el momento  $t_1$ , se produce el fallo de red y la turbina se controla en un modo de fallo. En el modo de fallo, la turbina eólica permanece conectada y el controlador pretende mantener la velocidad del rotor por debajo de un umbral de exceso de velocidad dado. En un evento de fallo donde cae la tensión de red, el controlador ya no puede usar la potencia para controlar la velocidad y las palas se regularán en paso para evitar el exceso de velocidad, por tanto en el modo de fallo, las palas de rotor se moverán en sentido contrario del ángulo de paso aerodinámicamente óptimo.

La figura 4 ilustra esta situación mostrando el ángulo de paso óptimo 41 en función del tiempo, superpuesto con un

ejemplo del ángulo de paso real 42 como consecuencia del fallo de red. En el momento  $t_2$ , el fallo de red finaliza y se detecta la recuperación de la red de servicio. Como se mencionó, durante la duración de pérdida de red, el ángulo de paso real 42 se mueve en sentido contrario del ángulo de paso óptimo 41, de modo que en el final del período de fallo ( $t_2$ ) el ángulo de paso ya no se encuentra en la posición aerodinámicamente óptima.

Tras la detección de que la red se ha recuperado en el momento  $t_2$ , la turbina se controla en un modo de recuperación que pretende garantizar que el ángulo de paso vuelva al ángulo de paso aerodinámicamente óptimo antes del final del período de recuperación. Con este fin, puede ser beneficioso regular el paso de las palas de vuelta a la curva de paso óptima lo más lentamente posible dentro del período de recuperación para evitar cargar de manera innecesaria componentes de la turbina.

En realizaciones, se tiene en cuenta la situación real de la turbina en el momento de la recuperación para garantizar que el ángulo de paso alcance un ángulo de paso deseado según la velocidad del viento real dentro de una duración predefinida del período de recuperación. Esto se obtiene en un modo de recuperación determinando el ángulo de paso real de las palas de rotor, la velocidad del viento real en el momento  $t_2$ , así como el ángulo de paso deseado, es decir, el ángulo de paso aerodinámicamente óptimo, según la velocidad del viento real. Basándose en estas entradas, se determina una tasa de cambio de paso de modo que el ángulo de paso real coincida con el ángulo de paso deseado antes del final del período de recuperación, y el ángulo de paso de las palas de rotor se cambia con la tasa de cambio de paso determinada.

En realizaciones, el ángulo de paso deseado se ajusta al ángulo de paso óptimo en la velocidad del viento real. Sin embargo, el ángulo de paso deseado puede ajustarse de una manera alternativa. Por ejemplo, el ángulo de paso deseado puede ajustarse al ángulo de paso óptimo a una velocidad del viento esperada en el final del período de recuperación.

En una situación donde la velocidad del viento cambia durante el período de recuperación de modo que el ángulo de paso aerodinámicamente óptimo a la velocidad del viento en el final del período de recuperación también cambia, puede ser ventajoso repetir las etapas del modo de recuperación a intervalos durante el período de recuperación. En el presente documento se muestra una sola repetición en  $t_3$ , sin embargo se entiende que ésta puede repetirse en un número de momentos durante el período de recuperación, como en cada muestra, en cada número de muestras u otros intervalos adecuados. De esta manera, la tasa de cambio de paso se adaptará durante el período de recuperación, de modo que el ángulo de paso en el final del período de recuperación 45 se nivele con el ángulo de paso óptimo a la velocidad del viento.

Por tanto, en una realización, el modo de recuperación comprende, a intervalo(s), repetir la determinación de un ángulo de paso real de cada una de las palas de rotor, la determinación de la velocidad del viento real y la determinación del ángulo de paso deseado de cada una de las palas de rotor según la velocidad del viento real, es decir, el ángulo de paso aerodinámicamente optimizado según la velocidad del viento real o actual. Basándose en estas entradas, se determina una tasa de cambio de paso actualizada de cada una de las palas de rotor, y el ángulo de paso de cada una de las palas de rotor se cambia con la tasa de cambio de paso actualizada.

En una realización, el ángulo de paso aerodinámicamente óptimo es un valor predefinido al que puede acceder el controlador de turbina eólica, por ejemplo, a través del almacenamiento en una memoria en la turbina o a través de una conexión de red a un almacenamiento remoto. El ángulo de paso aerodinámicamente óptimo puede almacenarse de cualquier manera adecuada, tal como en una tabla de consulta.

Durante el período de recuperación, el controlador de turbina eólica recibe el ángulo de paso deseado que se envía al controlador de paso 27 y controla la potencia de salida usando un bucle de control de retroalimentación de potencia.

En el ejemplo de la figura 4, la divulgación se refiere a controlar el ángulo de paso común, en este ejemplo el término una o más palas de paso se refiere a todas las palas. En realizaciones donde el paso individual se usa para controlar cargas de rotor, el accionamiento de paso individual puede hacerse funcionar como una señal de accionamiento independiente superpuesta en la señal de paso común. En realizaciones, la funcionalidad de paso individual también puede desactivarse durante el período de recuperación.

Tal como se muestra en la figura 3, no solo puede cambiar el ángulo de paso óptimo durante el fallo de red. En la invención, el controlador de turbina está dispuesto para determinar además una potencia de salida deseada de la turbina eólica según la velocidad del viento real y una tasa de cambio de la potencia de salida de modo que la potencia de salida coincida con la potencia de salida deseada antes del cambio del final del período de recuperación. De este modo, el controlador puede imponer un cambio de la potencia de salida con la tasa de cambio determinada.

La tasa de cambio de la potencia de salida y la tasa de cambio de paso están niveladas de modo que la potencia de salida alcanza la potencia de salida deseada al mismo tiempo que el ángulo de paso alcanza el ángulo de paso deseado.

De manera similar, también pueden cambiarse de manera similar parámetros adicionales, tal como la velocidad del

rotor u otros parámetros que se cambian durante el fallo y/o período de recuperación. Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con las realizaciones especificadas, no debe interpretarse de ninguna manera como limitada a los ejemplos presentados. La invención puede implementarse por cualquier medio adecuado; y el alcance de la presente invención debe interpretarse a la luz del conjunto de reivindicaciones adjuntas. Los signos de referencia en las reivindicaciones no deben interpretarse como limitantes del alcance.

5

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para controlar una turbina eólica (1) conectada a una red de servicio (24), la turbina eólica comprende palas de rotor, comprendiendo el método:
  - 5 detectar un fallo de la red de servicio (GF);
  - controlar una o más palas de rotor (6) en un modo de fallo;
  - 10 detectar una recuperación de la red de servicio (GR);
  - controlar durante un período de recuperación (40), una o más palas de rotor en un modo de recuperación, en el que el modo de recuperación comprende:
  - 15 determinar un ángulo de paso real (42) de cada una de las palas de rotor;
  - determinar una velocidad del viento real (ws);
  - 20 determinar un ángulo de paso deseado de cada una de las palas de rotor según la velocidad del viento real;
  - determinar una tasa de cambio de paso de cada una de las palas de rotor de modo que el ángulo de paso real coincida con el ángulo de paso deseado antes del final del período de recuperación, y
  - 25 cambiar el ángulo de paso de cada una de las palas de rotor con la tasa de cambio de paso determinada;
  - caracterizado porque el método comprende además:
  - determinar una potencia de salida deseada de la turbina eólica según la velocidad del viento real;
  - 30 determinar una tasa de cambio de la potencia de salida de modo que la potencia de salida coincida con la potencia de salida deseada antes del final del período de recuperación, y
  - cambiar la potencia de salida con la tasa de cambio determinada en el que la tasa de cambio de la potencia de salida y la tasa de cambio de paso se nivelan de modo que la potencia de salida alcanza la potencia de salida deseada al mismo tiempo que el ángulo de paso alcanza el ángulo de paso deseado.
2. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la turbina eólica permanece conectada a la red de servicio durante el fallo de la red.
- 40 3. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo de paso deseado es un ángulo de paso aerodinámicamente óptimo predefinido.
4. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la turbina eólica durante el período de recuperación se controla mediante el uso de un bucle de control de retroalimentación de potencia.
- 45 5. El método según cualquiera de la reivindicación anterior, en el que la turbina eólica se controla en funcionamiento de carga parcial donde la velocidad del viento es inferior a la velocidad del viento nominal para la turbina eólica.
- 50 6. Un sistema de control (20) para una turbina eólica, el sistema de control comprende al menos un procesador para:
  - detectar un fallo de la red de servicio (GF);
  - 55 controlar una o más palas de rotor (6) en un modo de fallo;
  - detectar una recuperación de la red de servicio (GR);
  - 60 controlar durante un período de recuperación (40), una o más palas de rotor en un modo de recuperación, en el que el sistema de control comprende además al menos un procesador para hacer funcionar la turbina en un modo de recuperación que comprende:
  - determinar un ángulo de paso real (42) de cada una de las palas de rotor;
  - 65 determinar una velocidad del viento real (ws);

- 5
- determinar un ángulo de paso deseado de cada una de las palas de rotor según la velocidad del viento real;
- determinar una tasa de cambio de paso de cada una de las palas de rotor de modo que el ángulo de paso real coincida con el ángulo de paso deseado antes del final del período de recuperación, y
- 10
- cambiar el ángulo de paso de cada una de las palas de rotor con la tasa de cambio de paso determinada;
- caracterizado porque el procesador está dispuesto además para:
- 15
- determinar una potencia de salida deseada de la turbina eólica según la velocidad del viento real;
- determinar una tasa de cambio de la potencia de salida de modo que la potencia de salida coincida con la potencia de salida deseada antes del final del período de recuperación, y
- 20
7. Cambiar la potencia de salida con la tasa de cambio determinada en el que la tasa de cambio de la potencia de salida y la tasa de cambio de paso se nivelan de modo que la potencia de salida alcanza la potencia de salida deseada al mismo tiempo que el ángulo de paso alcanza el ángulo de paso deseado.
8. Una turbina eólica que comprende un sistema de control según la reivindicación 6.
8. Un producto de programa informático que comprende código de software adaptado para controlar una turbina eólica cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento de datos, estando el producto de programa informático adaptado para controlar una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1-5.

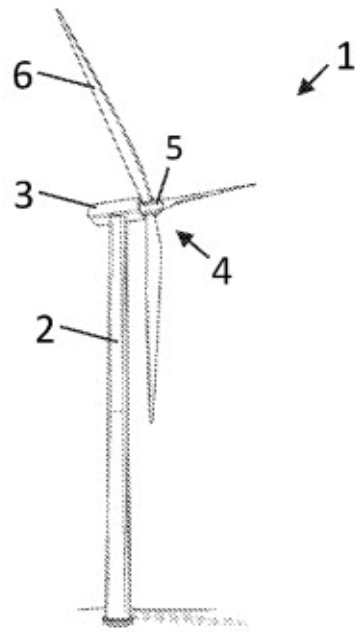


Fig. 1

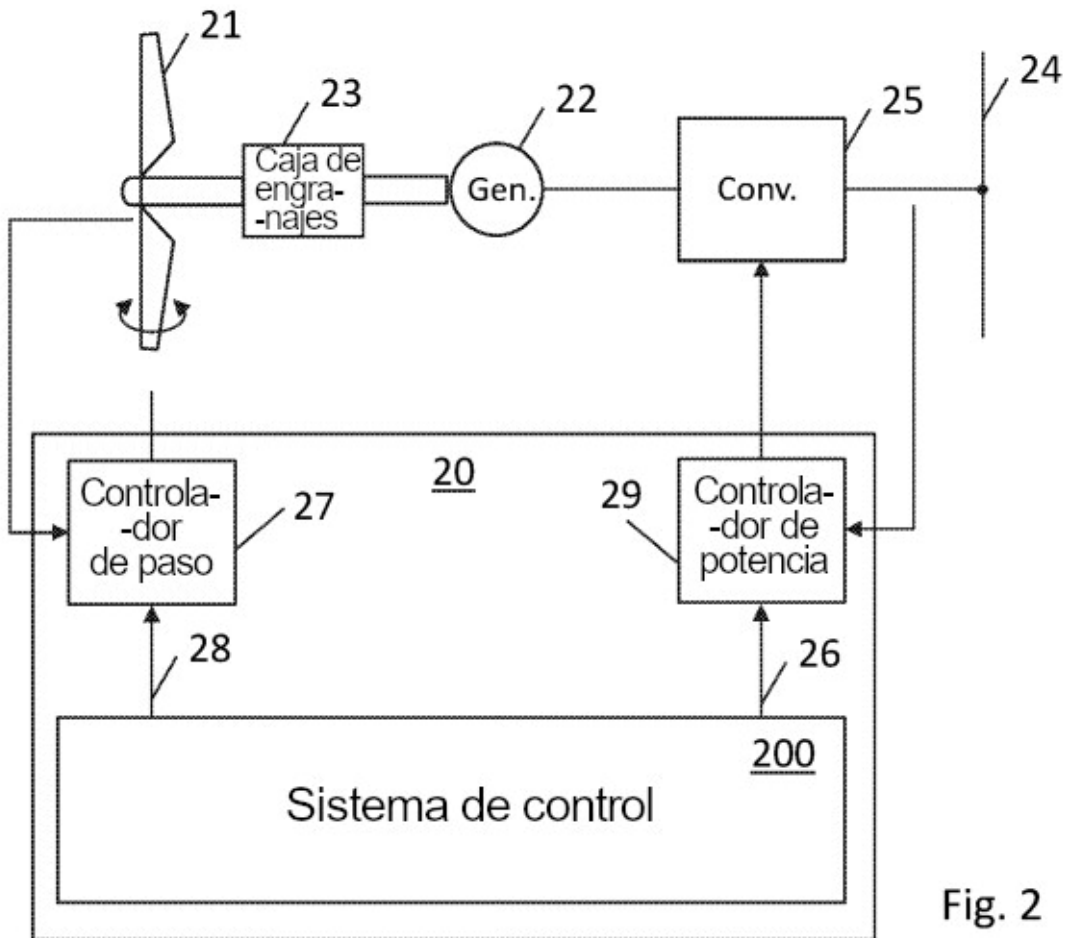


Fig. 2

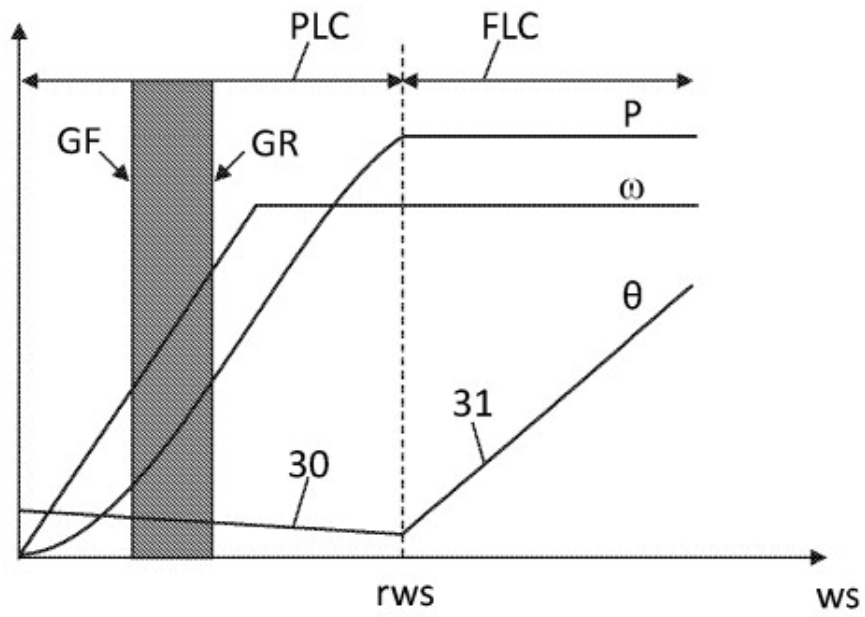


Fig. 3

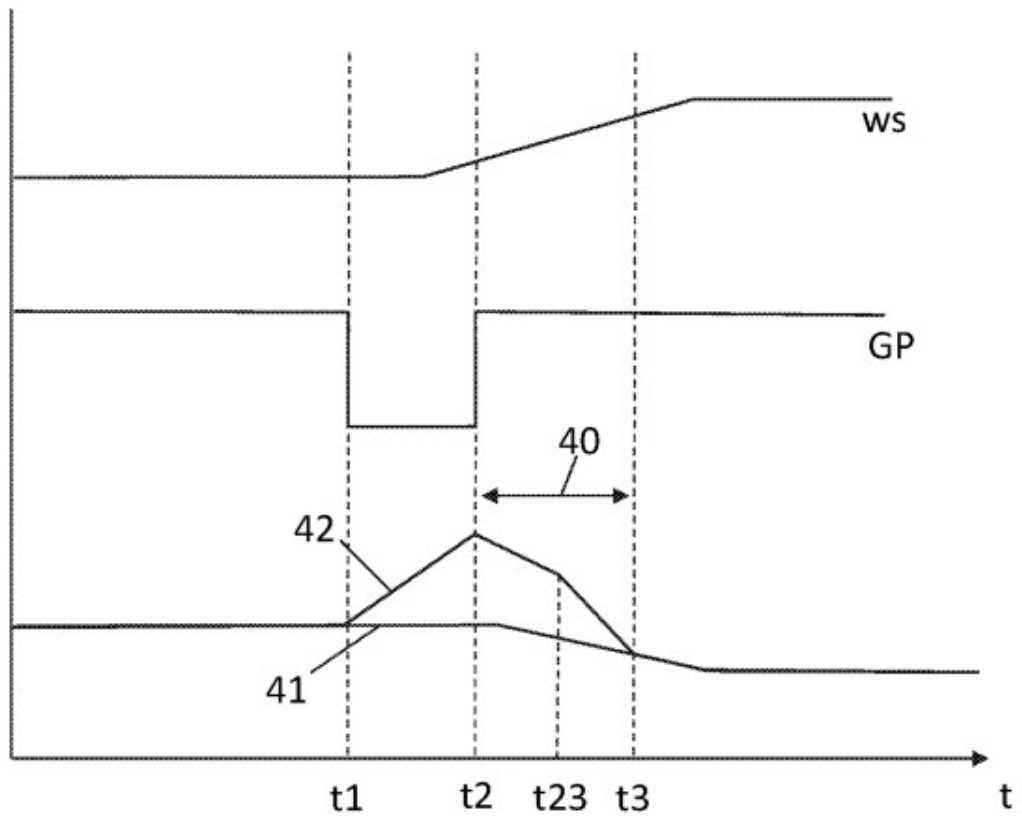


Fig. 4