

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 873 095**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.06.2015 PCT/DK2015/050177**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.12.2015 WO15197071**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2015 E 15731838 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021 EP 3161310**

54 Título: **Controlador de turbina eólica con bucle de control de retroalimentación de paso en carga parcial**

30 Prioridad:

26.06.2014 DK 201470387

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

03.11.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KJÆR, MARTIN ANSBJERG y
THOMSEN, JESPER SANDBERG**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 873 095 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

Controlador de turbina eólica con bucle de control de retroalimentación de paso en carga parcial

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere generalmente al control de turbinas eólicas y, más específicamente, a controlar la salida de potencia de generadores de turbina eólica en condiciones de funcionamiento reducidas.

10 Antecedentes de la invención

En general, se hace funcionar una turbina eólica o un parque eólico con el objetivo de obtener el máximo rendimiento del capital invertido en el mismo, y por consiguiente los sistemas de control de turbina eólica se configuran para maximizar la potencia de salida, es decir, hacer funcionar la turbina eólica para captar la máxima potencia que está disponible en el viento, teniendo debidamente en cuenta el mantenimiento de la turbina eólica dentro de los límites de carga.

Sin embargo, puede haber situaciones en las que existe el deseo de hacer funcionar la turbina eólica de tal manera que la potencia de salida solicitada sea realmente menor que una potencia disponible en el viento. Esto se denomina funcionamiento reducido, funcionamiento restringido, y también se usan otros términos en la técnica. El funcionamiento reducido puede desearse por varias razones, siendo una de ellas un interés en tener un almacenamiento intermedio de potencia que puede inyectarse en la red, por ejemplo, en conexión con el control de frecuencia.

El funcionamiento reducido puede hacerse de varias maneras, e incluso una turbina eólica puede implementar más de un método, en particular puede usarse un método cuando funciona en carga completa donde el viento permite la producción de potencia completa, y puede usarse otro método en carga parcial donde el viento solo permite la producción de potencia parcial, en comparación con la producción de potencia nominal de la turbina eólica. Para una turbina eólica con paso variable, esto se refiere a que en carga parcial, el control primario se basa en el control de velocidad ajustando un par de fuerzas de carga proporcionadas al rotor por el generador acoplado al rotor, mientras que en carga completa el control primario se basa en el paso activo.

El documento WO 2010/000648 A2 da a conocer un método de funcionamiento de una turbina eólica en modo restringido, donde en carga parcial se obtiene una restricción, compensando el valor de paso de un valor de paso óptimo para así captar menos energía del viento de la que está disponible.

El documento US2010/0133817 A1 da a conocer un método para controlar una velocidad de punta de una pala de una turbina eólica. El método incluye determinar la velocidad del viento cerca de la turbina eólica; mantener una primera velocidad de rotación sustancialmente constante de la punta de la pala durante velocidades variables del viento por encima de una primera velocidad nominal predeterminada del viento y por debajo de la segunda velocidad nominal predeterminada del viento; mantener una segunda velocidad de rotación sustancialmente constante de la punta de la pala durante velocidades del viento variables por encima de una segunda velocidad nominal predeterminada del viento. El ruido generado por el viento en la segunda velocidad nominal predeterminada del viento es mayor que el ruido generado por la pala en la segunda velocidad de rotación constante de la punta de la pala.

Sin embargo, existe una necesidad general en la técnica de proporcionar maneras mejoradas y adicionales de hacer funcionar turbinas eólicas de manera reducida.

Sumario de la invención

50 Sería ventajoso lograr maneras mejoradas de hacer funcionar una turbina eólica de manera reducida. Por otra parte, sería deseable proporcionar maneras mejoradas de hacer funcionar una turbina eólica de manera reducida que tenga en cuenta el riesgo de aumentar las cargas experimentadas por la turbina cuando funciona de manera reducida, así como proporcionar maneras mejoradas de hacer funcionar una turbina eólica de manera reducida que mejore el control de la potencia reducida producida.

55 En consecuencia, en un primer aspecto, se proporciona un método de control de una turbina eólica que en funcionamiento genera un nivel de salida de potencia producida, la turbina eólica que se hace funcionar según un nivel de potencia nominal, comprendiendo el método:

60 recibir una señal de referencia de potencia en un controlador de turbina eólica que define un nivel de salida de potencia solicitada inferior a un nivel de potencia disponible, en el que la señal de referencia de potencia es inferior al nivel de potencia nominal, y en el que la señal de referencia de potencia se proporciona basándose en el nivel de potencia disponible; y

65 determinar si el nivel de potencia disponible (20) está por encima o por debajo del nivel de potencia nominal,

en el que si se determina que el nivel de potencia disponible (24) está por debajo del nivel de potencia nominal, el método comprende además controlar la turbina eólica para funcionar en un modo reducido de carga parcial (62) realizando las etapas de:

5 establecer un paso de pala de un rotor de la turbina eólica a un valor de paso no óptimo basándose en la señal de referencia de potencia recibida que provoca que el rotor capte la energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada;

10 controlar el nivel de potencia de salida de potencia producida de la turbina eólica con respecto al nivel de salida de potencia solicitada ajustando un par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor; y

en el que el paso de pala del rotor está controlado además por un bucle de control de retroalimentación de paso que modifica el valor de paso no óptimo basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida y el nivel de salida de potencia solicitada.

15 Se proporciona un método que, en una situación de control reducida, establece un paso apropiado de las palas del rotor que provoca que el rotor capte la energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada, al tiempo que controla la potencia producida ajustando un par de fuerzas de carga del generador. Se trata de un controlador de tipo de carga parcial que proporciona una potencia de salida reducida compensando el ángulo de paso desde un ángulo óptimo.

20 El funcionamiento reducido puede llevar a la turbina a una situación donde cualquiera del controlador de carga parcial y el controlador de carga completa pueden usarse para hacer funcionar la turbina eólica para producir la potencia solicitada, lo que puede conducir a un aumento en el número de desplazamientos entre el control de carga completa y de carga parcial. Las realizaciones de la presente invención tienen la ventaja de que pueden evitarse frecuentes desplazamientos del control de carga completa al control de carga parcial. Tales desplazamientos aumentan la exposición a la carga de la turbina eólica, y evitar o reducir tales desplazamientos puede aumentar la vida útil de una turbina. Sin embargo, al reducir la potencia de salida basándose en una compensación de paso puede sufrir el problema de que la correspondencia entre el ángulo de paso y el nivel de potencia de salida se basa en el cálculo modelo y no es necesariamente precisa ni potencialmente expuesta a compensaciones y desviaciones. Por tanto, el nivel de potencia de salida reducido no puede necesariamente controlarse de manera precisa cuando que usa el controlador de carga parcial. Sin embargo, mediante el control adicional del valor de paso por un bucle de control de retroalimentación de paso se garantiza que cualquier compensación, desviación, imprecisiones, etc. en la potencia de salida se compense automáticamente.

35 En aspectos adicionales, el método se implementa en un controlador para una turbina eólica, así como en una turbina eólica para controlar la salida de potencia de generadores de turbina eólica en condiciones de funcionamiento reducidas. El controlador puede comprender un procesador y una memoria que incluyen instrucciones que, al ejecutarse por el procesador, provocan que el procesador realice el método del primer aspecto.

40 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.

45 **Breve descripción de los dibujos**

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

50 la figura 1 ilustra de manera esquemática una realización de un sistema de control junto con elementos de una turbina eólica;

la figura 2 ilustra curvas de potencia esquemáticas;

55 la figura 3 ilustra de manera esquemática la curva de potencia disponible y una curva de potencia reducida de carga parcial para una turbina eólica según una realización de la invención;

las figuras 4 y 5 ilustran estructuras de control según realizaciones de la presente invención:

60 la figura 6 ilustra un diagrama de flujo general de funcionamiento de una turbina eólica de manera reducida; y

la figura 7 ilustra un diagrama de flujo con elementos para realizar realizaciones de la presente invención para controlar una turbina eólica para generar un nivel de salida de potencia producida.

65 **Descripción de las realizaciones**

La figura 1 ilustra de manera esquemática una realización de un sistema de control junto con elementos de una turbina

eólica. La turbina eólica comprende palas del rotor 1 que se conectan mecánicamente a un generador eléctrico 2 a través de la caja de engranajes 3. La potencia eléctrica generada por el generador 2 se inyecta en una red de potencia 4 a través de un convertidor eléctrico 5. El generador eléctrico 2 puede ser un generador de inducción doblemente alimentado, pero pueden usarse otros tipos de generador.

El sistema control comprende varios elementos, que incluyen al menos un controlador 6 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 6 asegura que en funcionamiento la turbina eólica genere un nivel de salida de potencia solicitada. Esto se obtiene ajustando el ángulo de paso y/o la extracción de potencia del convertidor. Con este fin, el sistema de control 6 comprende un sistema de paso que incluye un controlador de paso 7 que usa una referencia de paso 8, y un sistema de potencia que incluye un controlador de potencia 9 que usa una referencia de potencia 10. Por tanto, el rotor de turbina eólica comprende palas del rotor que pueden regularse en paso por un mecanismo de paso. El rotor puede comprender o bien un sistema de paso común que ajusta todos los ángulos de paso en todas las palas del rotor al mismo tiempo, o bien el rotor puede comprender un sistema de paso individual capaz de regular en paso individualmente las palas del rotor. En la figura se muestran dos palas del rotor, sin embargo puede usarse cualquier número de palas del rotor, en particular tres palas del rotor.

La figura 2 ilustra curvas de potencia esquemáticas 20, 21. Una turbina eólica se hace funcionar a menudo según una estrategia global de control que usa dos regiones distintas, la región de carga parcial 22 y la región de carga completa 23. La curva de potencia 20 muestra el nivel de salida de potencia disponible, P , en función de la velocidad del viento, v , para una turbina dada según su clasificación de diseño. Las dos regiones se definen según el nivel de potencia nominal 24 de la turbina eólica, de modo que la turbina eólica se hace funcionar mediante un controlador de carga parcial cuando la velocidad del viento medida está por debajo de la velocidad del viento nominal v_R 25, de modo que la turbina eólica produzca menos que la potencia nominal 24, mientras que la turbina eólica se hace funcionar por un controlador de carga completa cuando la velocidad del viento medida está por encima de la velocidad del viento nominal 25, de modo que la turbina eólica produzca la potencia nominal 24. En el control de carga parcial, la potencia de salida está controlada principalmente por el controlador de potencia 9, mientras que en el control de carga completa, la potencia de salida se controla principalmente por el controlador de paso 7.

Podrá solicitarse a una turbina que produzca un nivel de salida de potencia 28 que esté por debajo del nivel de potencia disponible 24, es decir, que funcione en modo reducido o restringido. Una consecuencia de reducir la turbina eólica puede ser que el punto de conmutación 26, 27 entre las regiones de carga parcial y de carga completa, se mueva desde el área alrededor de la velocidad del viento nominal 25 a una velocidad del viento diferente más baja.

La producción reducida solicitada no tiene por qué venir como un valor estacionario, y los puntos establecidos para una potencia solicitada pueden cambiar tan a menudo como entre varias veces por segundo y cada pocos minutos, y como consecuencia de esto, el punto de conmutación entre el control de carga parcial y el control de carga completa también puede cambiar. En una situación en la que la potencia solicitada y/o la potencia disponible es inferior a la potencia nominal, es decir, la velocidad del viento disponible es inferior a la velocidad del viento nominal, esto puede ser un problema. En particular, si la turbina recibe un punto establecido de potencia que se basa en la potencia disponible dado que en esta situación la turbina se hará funcionar alrededor de los puntos de conmutación, lo que conduce a un mayor número de conmutaciones entre el control de carga parcial y de carga completa. El desplazamiento del control de carga parcial al de carga completa, y viceversa, impone un aumento de la carga a la turbina. El punto establecido de potencia puede basarse en la potencia disponible, por ejemplo, estableciendo el punto establecido de potencia como porcentaje fijo de la potencia disponible, como una cantidad fija por debajo de la potencia disponible, o por cualquier otro medio adecuado.

La figura 3 ilustra una manera de reducir el número de instancias de conmutación cuando funciona en modo reducido. La figura ilustra la curva de potencia disponible 20 y una curva de potencia reducida de carga parcial 30 para la turbina eólica según una realización de la invención. A modo de ejemplo, el controlador de turbina eólica recibe una solicitud para hacer funcionar la turbina eólica a un nivel de potencia reducida 28, y en respuesta a esto, el controlador de turbina eólica genera una curva de potencia reducida de carga parcial 30 desplazando la curva de salida de potencia disponible 20 a la derecha, es decir, para velocidades de viento más altas. La curva de potencia 30 se genera desplazándola para una mayor velocidad del viento hasta que la curva potencia en el nivel de salida de potencia solicitada 28, es decir, el nivel de potencia reducida, se cruza con la velocidad del viento disponible v_A . Esto contrasta con un controlador de turbina convencional, que genera la curva de salida de potencia reducida reduciendo la potencia máxima producida, tal como se muestra en la figura 2. Como consecuencia de generar la curva de salida de potencia reducida mediante el desplazamiento de la curva de potencia disponible 30 a la derecha, el controlador de turbina eólica 6 funciona en un segmento de control de carga parcial 22 de la curva de salida potencia reducida. Debido al desplazamiento de la curva de potencia, ya no hay problema con un punto de desplazamiento entre carga completa y carga parcial.

La curva de potencia reducida 30 se obtiene desplazando una copia de la curva de potencia no reducida 20 para superponer exactamente el punto de cruce entre la potencia reducida 28 y el viento disponible v_A . Sin embargo, debe entenderse que puede obtenerse el mismo efecto desplazando una versión modificada de la curva de potencia no reducida a una posición que se superpone sustancialmente con el punto de cruce.

El funcionamiento basado en la curva de potencia desplazada tal como se ilustra en la figura 3 es ventajoso en particular para situaciones en las que la potencia disponible es menor que la potencia nominal, mientras que si la potencia disponible es superior a la potencia nominal, puede seleccionarse el funcionamiento basado en una curva de potencia reducida 21 tal como se ilustra en la figura 2.

El desplazamiento a una mayor velocidad del viento puede lograrse compensando el ángulo de paso desde el ajuste óptimo usado normalmente al hacerse funcionar en la región de control de carga parcial. El ángulo de paso compensado provoca que el rotor capte menos energía eólica de la que captaría el ajuste de paso óptimo. El paso de pala no óptimo desplaza la curva de salida de potencia de la turbina reduciendo el coeficiente de potencia C_p del rotor. De este modo, la turbina eólica genera la salida de potencia reducida solicitada a velocidades del viento por encima de v_D sin entrar en la región de control de carga completa. Como resultado, el funcionamiento basado en la curva de potencia reducida de carga parcial 30 puede reducir la actividad de paso de pala de la turbina eólica cuando se hace funcionar en condiciones de funcionamiento reducido a velocidades del viento por encima de v_D en comparación con turbinas eólicas convencionales que carecen de características de reducción de carga parcial.

En una realización, el ajuste del paso de pala puede comprender determinar una velocidad del viento real, normalmente mediante una medición de velocidad del viento y determinar el valor de paso basándose en una tabla de consulta bidimensional que correlaciona el nivel de salida de potencia solicitada, la relación de velocidad de punta y el valor de paso. Es decir, el ajuste del paso de pala puede basarse en un cálculo de C_p inverso. En una realización, el cálculo de C_p inverso puede comprender además un bucle de observador que modifica el valor de C_p inverso calculado basándose en un bucle de retroalimentación que compensa un error en el valor de C_p inverso calculado.

Por tanto, en realizaciones de la presente invención, la reducción de la potencia se obtiene mediante el establecimiento de un paso de pala de un rotor de la turbina eólica en un valor de paso basado en la señal de referencia de potencia recibida que provoca que el rotor capte energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada, y luego controlar el nivel de potencia de salida de potencia producida de la turbina eólica con respecto al nivel de salida de potencia solicitada ajustando un par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor.

Sin embargo, la correspondencia entre ángulo de paso y nivel de potencia de salida está basada en un cálculo modelo y no es necesariamente precisa ni está potencialmente expuesta a compensaciones y desviaciones. Al controlar además el valor de paso por un bucle de control de retroalimentación de paso que modifica el valor de paso basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida y el nivel de salida de potencia solicitada se garantiza que cualquier compensación, desviación, imprecisiones, etc. en la potencia de salida se compense automáticamente.

La figura 4 ilustra una estructura de control según realizaciones de la presente invención, donde un bucle de control de retroalimentación de paso modifica el valor de paso para compensar diferencias en la potencia de salida debido a cualquier pequeño error en el valor de paso exacto que se estableció para captar energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada.

El controlador recibe un nivel de salida de potencia solicitada 40 en forma de punto establecido de potencia. Además, el controlador recibe, o calcula, un punto establecido de velocidad 41. El punto establecido de potencia se recibe desde una fuente externa, es decir, el operador de planta, mientras que el punto establecido de velocidad se basa en una determinación de la velocidad óptima basándose en la potencia solicitada a la luz de la velocidad del viento. La velocidad se introduce en un controlador de velocidad 42 que reenvía el ajuste de potencia deseado al controlador de potencia 43 de modo que el par de fuerzas de carga se ajusta para entregar la velocidad deseada. La velocidad de generador resultante 44 se mide y se alimenta de nuevo al controlador de velocidad 42 junto con la velocidad deseada 41 para controlar la velocidad de generador. Como resultado, se produce una potencia de salida en un nivel de salida de potencia 46.

En un controlador de carga parcial convencional, el nivel de salida de potencia producida 46 se generaría basándose principalmente en el control de la velocidad ajustando el par de fuerzas de carga proporcionado al rotor mediante el acoplamiento de generador al rotor, mientras que se controla el valor de paso basándose en la velocidad del viento.

Sin embargo, en realizaciones de la presente invención, el valor de paso está compensado con respecto a un valor de paso basándose en el cálculo de C_p inverso, por ejemplo, mediante el uso de un elemento de alimentación previa basado en C_p 50 que calcula de manera continua una contribución a partir de cambios en el C_p debido a cambios en el punto establecido de potencia 40, y determina una contribución al actuador de paso 48 basándose en esta determinación. Adicionalmente, el valor de paso también está controlado por un bucle de control de retroalimentación de paso que modifica el valor de paso basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida 46 y el nivel de salida de potencia solicitada 40. Esto se obtiene mediante la implementación de una rutina de retroalimentación de potencia 47 que da instrucciones al sistema de paso 48 para cambiar el valor de paso basándose en un error en la potencia producida 46 en relación con la potencia solicitada 40. La rutina de retroalimentación de potencia implementa una unidad 49 que basándose en la(s) entrada(s) de potencia determina un valor de paso apropiado. Debido al bucle de retroalimentación 47, el valor de paso se adaptará a cambios que se deban a cambios

en el valor de C_p debido al punto establecido de potencia variable. Sin embargo, dado que se trata de un bucle bastante lento, puede ser ventajoso usar directamente el elemento de alimentación previa 50.

5 El resultado es que el valor de paso se ajusta de manera continua para garantizar que el nivel de salida de potencia producida 46 se mantenga en el nivel de salida de potencia solicitada.

10 El bucle de control de retroalimentación de paso se implementa ventajosamente para cambiar el valor de paso en una escala de tiempo que es más larga que una escala de tiempo de control del nivel de salida de potencia producida. El control general de una turbina eólica se hace funcionar en una escala de tiempo de segundos, por tanto de manera ventajosa, el bucle de control de retroalimentación de paso se implementa para cambiar el valor de paso en una escala de tiempo entre unos segundos y unos minutos, tal como entre 5-10 segundos y 7 minutos.

15 Esto puede obtenerse mediante un controlador con un término integral que garantiza una adaptación lenta, tal como un controlador PI o I con un nivel I ajustado adecuadamente.

Al usar un controlador lento se evita cualquier dinámica no deseada debido a fenómenos transitorios en la velocidad del viento.

20 El esquema de control tal como se ilustra en la figura 4 se aplica lo más ventajosamente en un estado estacionario, o estado semiestacionario, situación donde se solicita un punto establecido de potencia que varía de manera lenta o constante 40.

25 En una situación en la que se aplica un punto establecido de potencia externo variable, el esquema de control puede extenderse ventajosamente, tal como se ilustra en la figura 5.

La figura 5 ilustra una estructura de control según realizaciones de la presente invención, que por un lado garantiza una precisión de estado estacionario y por otra parte implementa elementos de alimentación previa para ayudar durante fenómenos transitorios, incrementos y otras situaciones donde varía el punto establecido de potencia.

30 El controlador de velocidad 42 se adaptará a cambios en la velocidad debido a la retroalimentación 45. Sin embargo, durante situaciones en las que la potencia externa se cambia rápidamente, la velocidad de generador puede controlarse además por un control de alimentación previa de potencia 51 que proporciona una contribución al punto establecido de potencia basándose en el nivel de salida de potencia solicitada.

35 De esta manera el controlador de paso 48 y/o el controlador de potencia 43 se ven ayudados por contribuciones de alimentación previa para adaptarse a puntos establecidos de potencia. Esto puede dar como resultado una adaptación más rápida en condiciones variables, sin embargo, también puede ayudar a equilibrar cualquier variación de par de fuerzas entre el par de fuerzas de rotor generado y el par de fuerzas de generador.

40 Durante los fenómenos transitorios pueden ser importante garantizar además un equilibrio entre la entrada de potencia del viento y la potencia extraída por el generador, es decir, garantizar un equilibrio de par de fuerzas. En una realización esto se obtiene imponiendo limitaciones de incremento sobre la señal de paso y/o la referencia de potencia al actuador.

45 En una realización, el limitador de tasa puede imponerse como un límite de tasa de paso que se impone a la tasa de cambio del valor de paso. Esto puede hacerse imponiendo un límite al elemento de alimentación previa basado en C_p 50, por ejemplo, colocando un elemento de limitación en la rutina de control en la figura 5 tal como se indicó de manera esquemática por el elemento 52.

50 En una realización, el limitador de tasa puede imponerse como límite de tasa de potencia que se impone sobre la tasa de cambio del punto establecido de potencia. Esto puede hacerse mediante el bucle de control de velocidad imponiendo un límite al control de alimentación previa de potencia 51, por ejemplo, colocando un elemento de limitación en la rutina de control en la figura 5 tal como se indicó de manera esquemática por el elemento 53.

55 La colocación de los limitadores de tasa 52, 53 son solo ejemplos. Otras posiciones pueden elegirse por diversas razones o en conexión con condiciones específicas.

60 La rutina de control puede implementar uno o ambos de los limitadores de tasa, sin embargo, en una realización el límite de tasa de paso y/o el límite de tasa de punto establecido de velocidad se fijan a límite(s) predefinido(s) que son las tasas más rápidas que se permiten. El/los límite(s) de tasa puede, por ejemplo, establecerse mediante requisitos que se cumplen por la red.

65 En una realización, el límite de tasa de paso se establece dependiendo del límite de tasa de punto establecido de potencia, o viceversa. El establecimiento de los dos límites de tasa dependiendo uno de otro puede ayudar a garantizar que el par de fuerzas de rotor y el par de fuerzas de generador estén equilibrados. En una realización de este tipo, uno de los límites de tasa puede seleccionarse para ser constante, mientras que el otro puede variar debido a variaciones en el viento, la relación de velocidad de punta, etc.

La figura 6 ilustra un diagrama de flujo global de funcionamiento de una turbina eólica de manera reducida.

5 En una etapa general 60, el controlador de turbina eólica recibe una señal de referencia de potencia que define un nivel de salida de potencia solicitada inferior a un nivel de potencia disponible. Es decir, se solicita a la turbina eólica que se haga funcionar en modo reducido.

10 Un bucle de control global 61 determina si el nivel de potencia disponible está o no por encima o por debajo del nivel de potencia nominal. La potencia nominal es una característica de diseño de la turbina dada.

15 Si el nivel de potencia disponible está por debajo del nivel de potencia nominal, la turbina eólica se controla para que funcione en modo reducido de carga parcial 62, y alternativamente si el nivel de potencia disponible está por encima del nivel de potencia nominal, la turbina eólica se controla para que funcione en modo de reducido de carga completa 63.

En el modo de control de carga parcial reducido, la turbina eólica se hace funcionar según la curva de potencia 30 tal como se muestra en la figura 3, mientras que en modo completo reducido, la turbina eólica puede hacerse funcionar según la curva de potencia 20 tal como se muestra en la figura 2.

20 En el modo de control de carga parcial reducido 62, el paso de pala de un rotor de la turbina eólica puede compensarse con respecto a un valor de paso basándose en el nivel de potencia reducida mientras que se controla el nivel de potencia de salida de potencia producida de la turbina eólica controlando la velocidad del rotor ajustando el par de fuerzas de carga del generador junto con, según realizaciones de la presente invención, un bucle de control de retroalimentación de paso que modifica el valor de paso basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida y el nivel de salida de potencia solicitada.

25 En el modo de control de carga completa reducido 63, la velocidad de generador y el par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor se establece basándose en el nivel de potencia reducida, y el nivel de potencia reducida se mantiene ajustando el valor de paso del rotor.

30 En realizaciones, la carga completa reducida puede implementarse de diferentes maneras.

La figura 7 ilustra un diagrama de flujo con elementos para realizar realizaciones de la presente invención para controlar una turbina eólica para generar un nivel de salida de potencia producida.

35 En una primera etapa 70 una señal de referencia de potencia se recibe en un controlador de turbina eólica. La señal de referencia de potencia define un nivel de salida de potencia solicitada inferior a un nivel de potencia disponible. Es decir, se solicita a la turbina eólica que funcione en modo reducido.

40 En una etapa posterior 71, un paso de pala de un rotor de la turbina eólica se establece con respecto a un valor de paso basándose en la señal de referencia de potencia recibida que provoca que el rotor capte la energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada. El rotor, por tanto, está establecido para captar menos energía eólica que la que está disponible en el viento.

45 En la siguiente etapa 72, el nivel de potencia de salida de potencia producida de la turbina eólica se controla en el nivel de salida de potencia solicitada ajustando un par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor.

50 En una etapa final 73, el paso de pala del rotor está controlado además por un bucle de control de retroalimentación de paso para modificar el valor de paso basándose en una diferencia entre el nivel de salida de producido y el nivel de salida de potencia solicitada. El bucle de control de retroalimentación de paso modifica por tanto el valor de paso para ayudar a minimizar cualquier diferencia en potencia solicitada y en potencia producida.

55 Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con las realizaciones especificadas, no debe interpretarse como que está limitada de ninguna manera a los ejemplos presentados. La invención puede implementarse por cualquier medio adecuado; y el alcance de la presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe interpretarse como limitante del alcance.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de control de una turbina eólica que en funcionamiento genera un nivel de salida de potencia producida, haciéndose funcionar la turbina eólica según un nivel de potencia nominal (24), comprendiendo el método:

10 recibir una señal de referencia de potencia en un controlador de turbina eólica que define un nivel de salida de potencia solicitada (28, 40) inferior a un nivel de potencia disponible (20), en el que la señal de referencia de potencia está por debajo del nivel de potencia nominal, y en el que se proporciona la señal de referencia de potencia basándose en el nivel de potencia disponible; y,

15 determinar si el nivel de potencia disponible (20) está por encima o por debajo del nivel de potencia nominal, en el que si se determina que el nivel de potencia disponible (24) está por debajo del nivel de potencia nominal, el método comprende además controlar la turbina eólica para funcionar en un modo reducido de carga parcial (62) realizando las etapas de:

20 establecer un paso de pala (48) de un rotor de la turbina eólica en un valor de paso no óptimo basándose en la señal de referencia de potencia recibida (40) que provoca que el rotor capte la energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada;

25 controlar el nivel de potencia de salida de potencia producida (43) de la turbina eólica con respecto al nivel de salida de potencia solicitada ajustando un par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor; y

30 en el que el paso de pala del rotor está controlado además por un bucle de control de retroalimentación de paso (47) que modifica el valor de paso no óptimo basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida (46) y el nivel de salida de potencia solicitada (40).
- 30 2. Método según la reivindicación 1, en el que la turbina eólica se controla basándose en una curva de potencia reducida (30), basándose la curva de potencia reducida en una curva de potencia no reducida que se desplaza a velocidades de viento más altas, de modo que la salida de potencia de turbina eólica en el nivel de salida de potencia solicitada se coloca para que cruce con la velocidad del viento disponible (vA).
- 35 3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se implementa el bucle de control de retroalimentación de paso para cambiar el valor de paso no óptimo en una escala de tiempo que es más larga que una escala de tiempo de control del nivel de salida de potencia producida.
- 40 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el bucle de control de retroalimentación de paso implementa un controlador con un término integral.
- 45 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que establecer el paso de pala comprende: determinar una velocidad del viento real; y

50 determinar el valor de paso no óptimo basándose en una tabla de consulta bidimensional que correlaciona el nivel de salida de potencia solicitada, la relación de velocidad de punta y el valor de paso.
- 55 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el paso de pala del rotor está controlado además por un bucle de control de retroalimentación de paso (47) que modifica el valor de paso no óptimo basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida (46) y el nivel de salida de potencia solicitada (40) y en un término de alimentación previa (50) que determina una contribución al valor de paso basándose en una determinación de Cp basada en la potencia solicitada.
- 60 7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el nivel de potencia de salida de la turbina eólica está controlado además por un bucle de control de velocidad (45) que minimiza una diferencia entre un punto establecido de velocidad de generador y una velocidad de generador medida; y

65 en el que la velocidad de generador está controlada además por un elemento de control de alimentación previa (51) que modifica un punto establecido de potencia con respecto a un controlador de potencia basándose en el nivel de salida de potencia solicitada.
8. Método según la reivindicación 6, en el que el establecimiento del paso de pala está controlado además por un limitador de tasa de incremento (52) que limita la tasa de cambio del valor de paso no óptimo a un límite de tasa de paso.

9. Método según la reivindicación 7, en el que el establecimiento de punto establecido de potencia el controlador de potencia está controlado además por un limitador de tasa de incremento (53) que limita la tasa de cambio del punto establecido de potencia a un límite de tasa de potencia.
- 5 10. Método según las reivindicaciones 8 y 9, en el que el límite de tasa de paso y/o el límite de tasa de punto establecido de potencia se fijan con respecto a límite(s) predefinido(s).
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el método, si el nivel de potencia disponible está por encima del nivel de potencia nominal:
- 10 establecer una velocidad de generador y par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor basándose en la señal de referencia de potencia recibida (28, 40) para proporcionar el nivel de salida de potencia que es igual a la potencia solicitada; y
- 15 controlar el paso de pala del rotor para controlar el nivel de potencia de salida de potencia producida (46) de la turbina eólica con respecto al nivel de salida de potencia solicitada (40) ajustando el valor de paso (48) del rotor.
12. Controlador para una turbina eólica que se hace funcionar según un nivel de potencia nominal (24), comprendiendo el controlador:
- 20 un procesador y una memoria que incluye instrucciones que, al ejecutarse por el procesador, provocan que el procesador
- 25 reciba una señal de referencia de potencia que define un nivel de salida de potencia solicitada (28, 40) inferior a un nivel de potencia disponible (20), en el que la señal de referencia de potencia está por debajo del nivel de potencia nominal, y en el que se proporciona la señal de referencia de potencia basándose en el nivel de potencia disponible;
- 30 determine si el nivel de potencia disponible (20) está por encima o por debajo del nivel de potencia nominal, en el que si se determina que el nivel de potencia disponible (24) está por debajo del nivel de potencia nominal, la turbina eólica se controla para funcionar en un modo reducido de carga parcial (62) provocando que el procesador
- 35 establezca un paso de pala (48) de un rotor de la turbina eólica en un valor de paso no óptimo basándose en la señal de referencia de potencia recibida (40) que provoca que el rotor capte la energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada;
- 40 controle el nivel de potencia de salida de potencia producida (43) de la turbina eólica con respecto al nivel de salida de potencia solicitada ajustando un par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor; y
- 45 en el que el procesador provoca además un bucle de control de retroalimentación de paso (47) para modificar el valor de paso no óptimo basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida (46) y el nivel de salida de potencia solicitada (40).
13. Turbina eólica que se hace funcionar según un nivel de potencia nominal (20) y en funcionamiento genera un nivel de salida de potencia producida, comprendiendo la turbina eólica:
- 50 un procesador y una memoria que incluye instrucciones que, al ejecutarse por el procesador, permiten al procesador:
- 55 recibir una señal de referencia de potencia que define un nivel de salida de potencia solicitada (28, 40) inferior a un nivel de potencia disponible (20), estando la señal de referencia de potencia por debajo del nivel de potencia nominal, y proporcionándose la señal de referencia de potencia basándose en el nivel de potencia disponible; y,
- 60 determinar si el nivel de potencia disponible (20) está por encima o por debajo del nivel de potencia nominal, comprendiendo además la turbina eólica:
- 65 un sistema de paso para establecer un paso de pala (48) de un rotor de la turbina eólica en un valor de paso no óptimo basándose en la señal de referencia de potencia recibida (40) que provoca que el rotor capte la energía eólica que es aproximadamente igual al nivel de salida de potencia solicitada cuando la turbina eólica está en el modo reducido de carga parcial (62);

5 un sistema de potencia para controlar el nivel de potencia de salida de potencia producida (43) de la turbina eólica con respecto al nivel de salida de potencia solicitada ajustando un par de fuerzas de carga proporcionado al rotor por un generador acoplado al rotor cuando la turbina eólica está en el modo reducido de carga parcial (62); y

10 en el que el procesador provoca además que un bucle de control de retroalimentación de paso (47) modifique el valor de paso no óptimo basándose en una diferencia entre el nivel de salida de potencia producida (46) y el nivel de salida de potencia solicitada (40) cuando la turbina eólica está en el modo reducido de carga parcial (62).

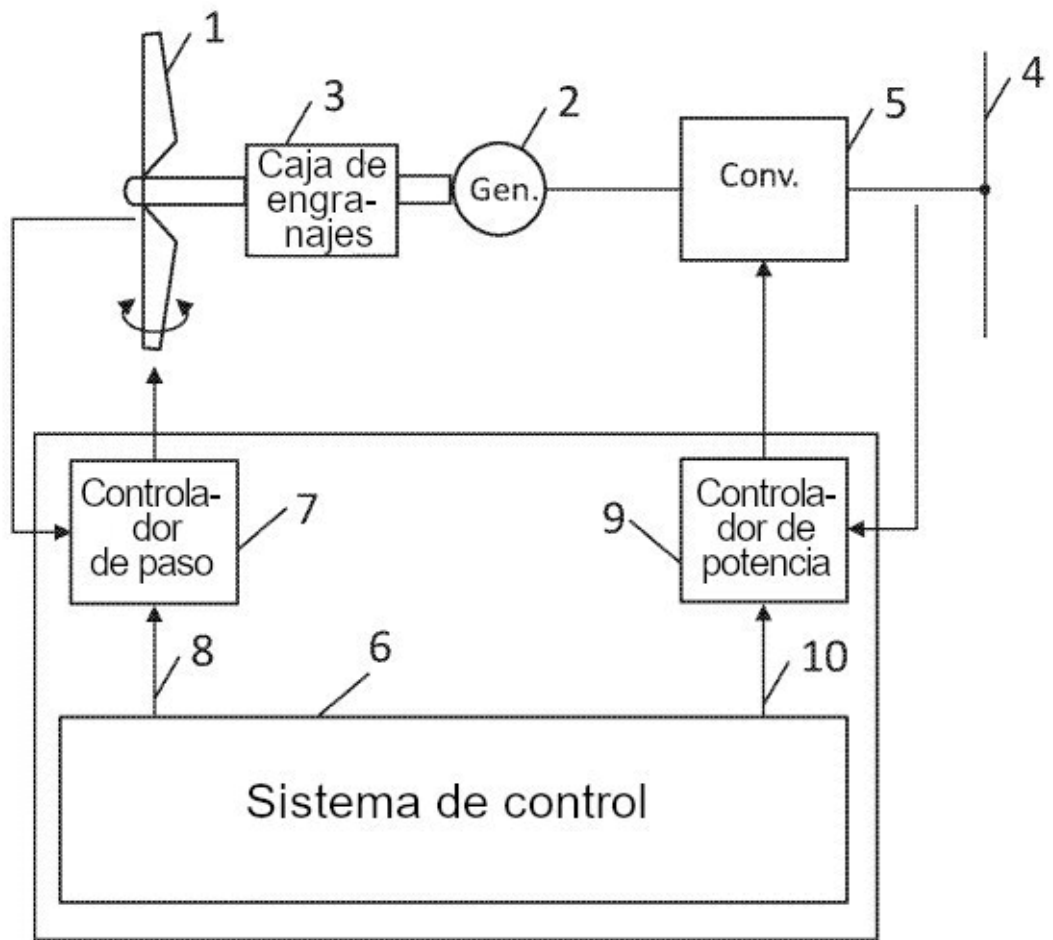


Fig. 1

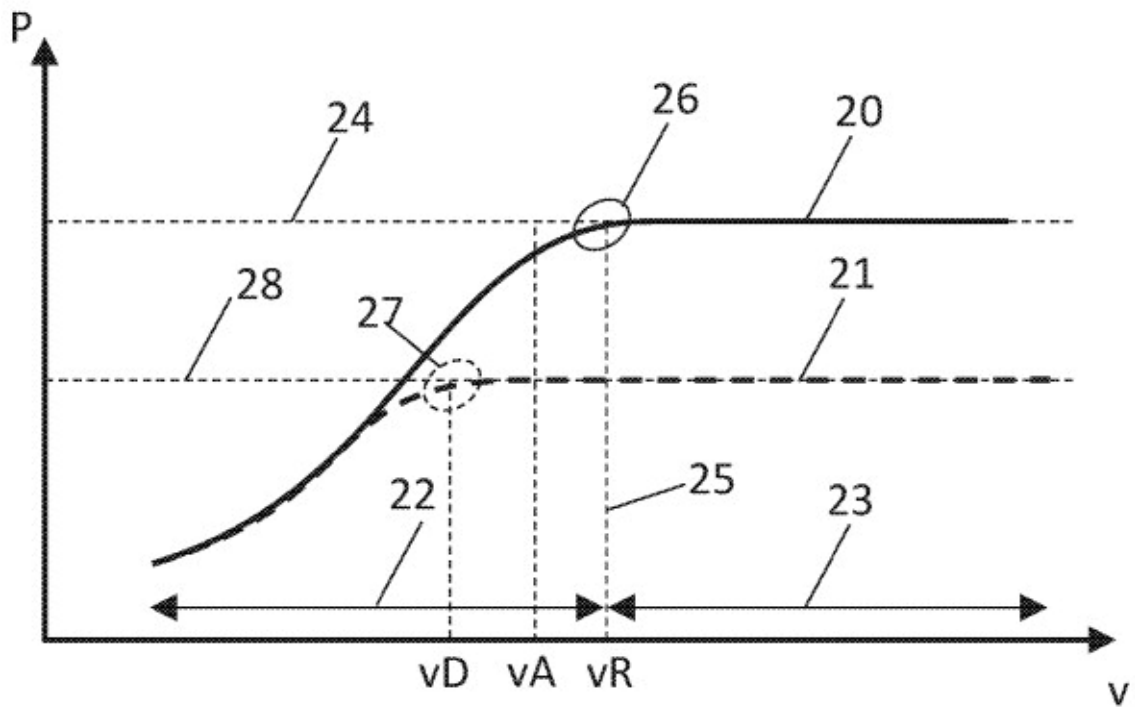


Fig. 2

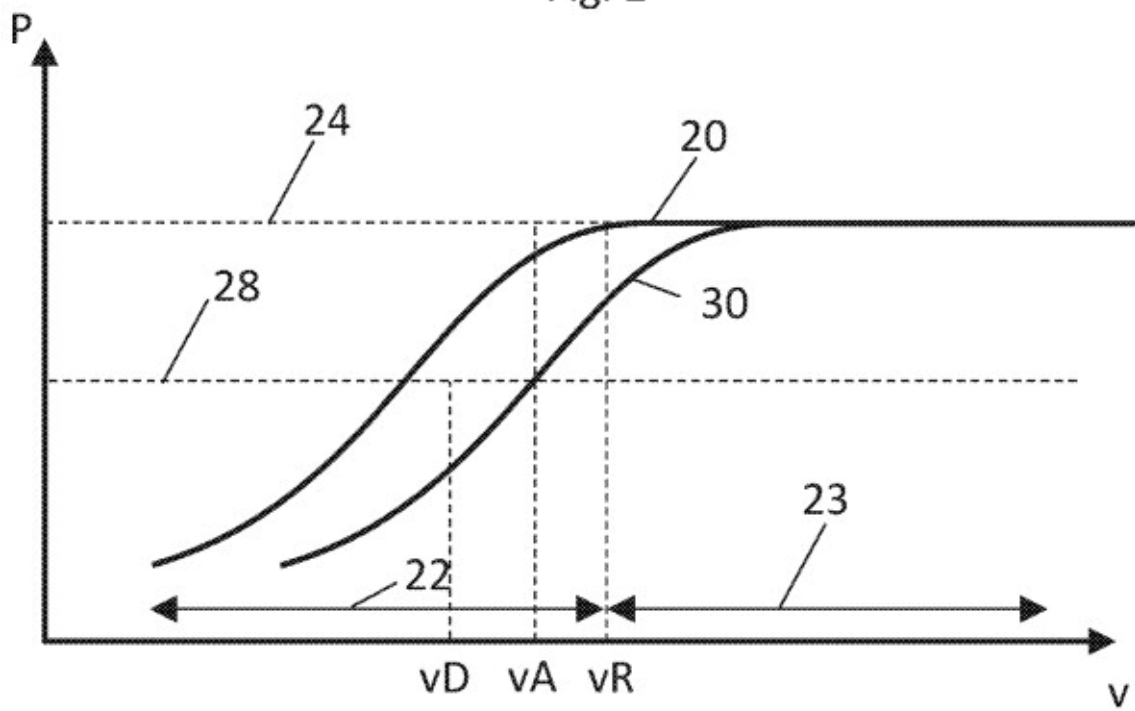


Fig. 3

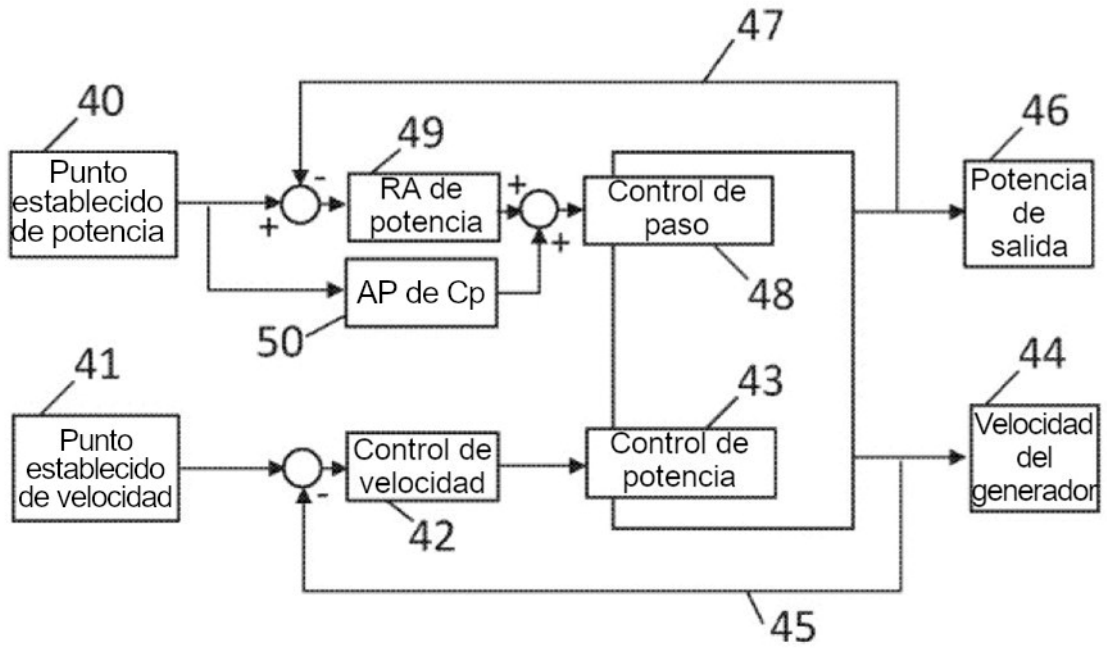


Fig. 4

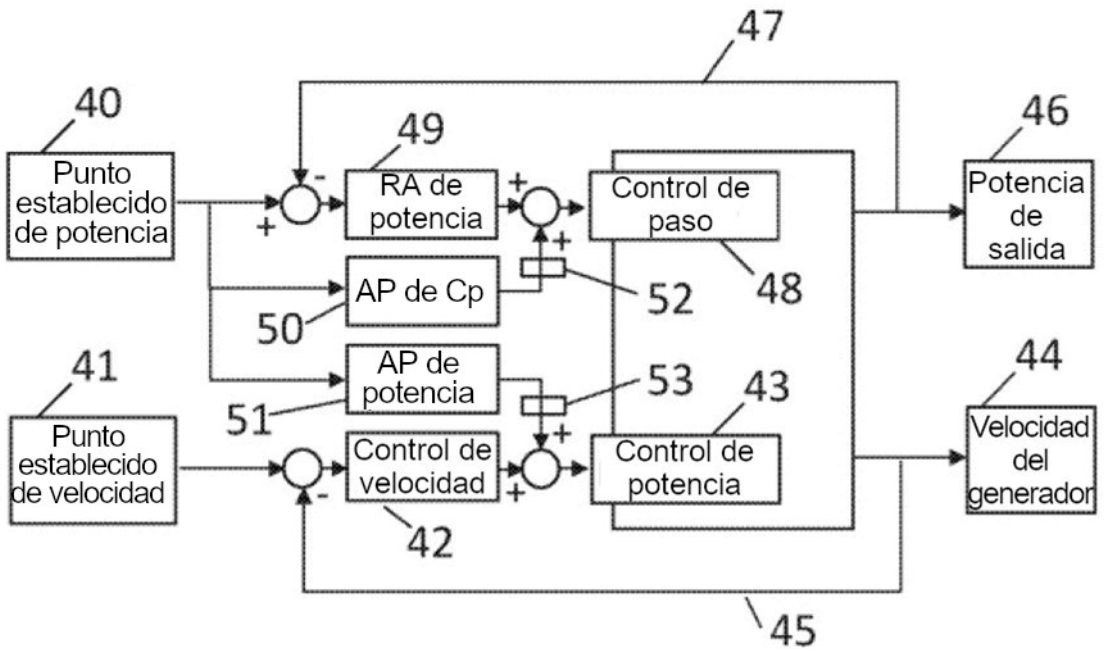


Fig. 5

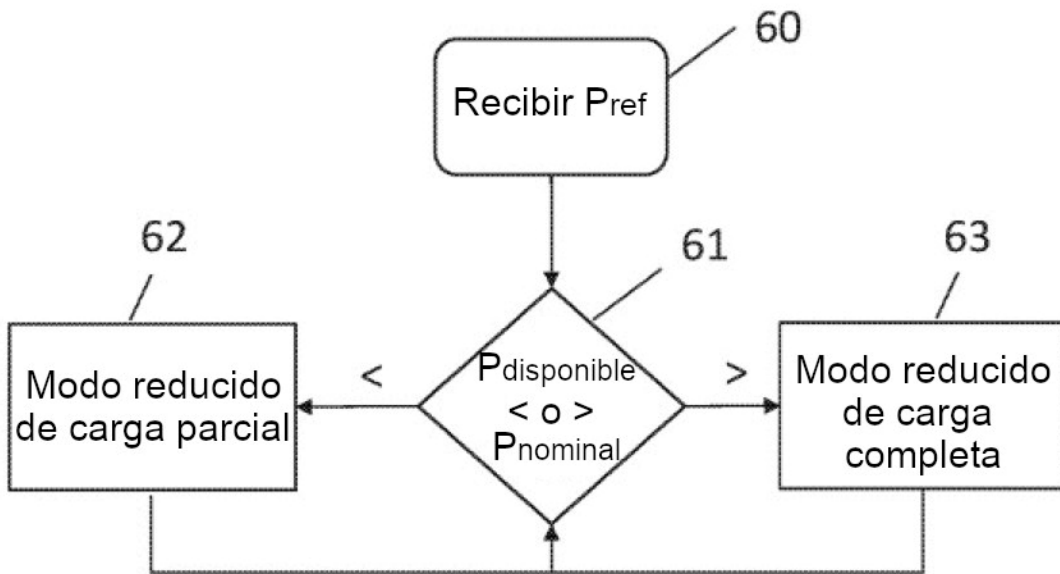


Fig. 6

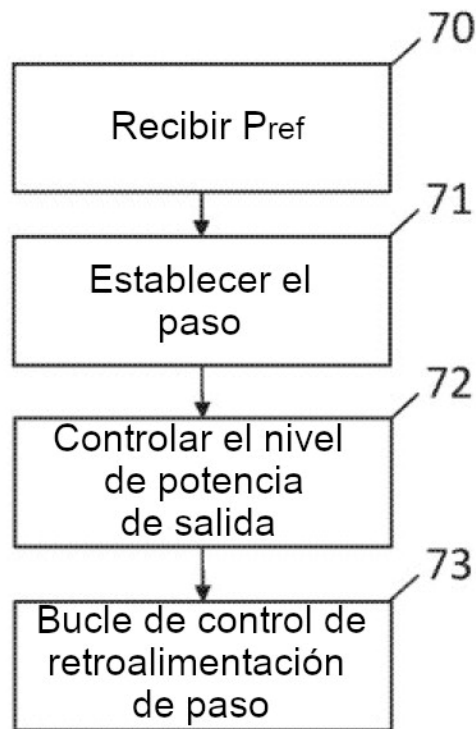


Fig. 7