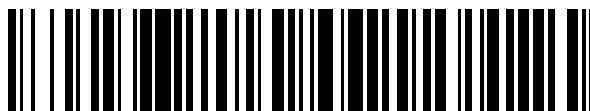


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 816**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2010** **E 10157393 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017** **EP 2233736**

54 Título: **Método de control de una turbina eólica, y turbina eólica**

30 Prioridad:

23.03.2009 ES 200900783

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

26.12.2017

73 Titular/es:

**ACCIONA WINDPOWER S.A. (100.0%)
AVENIDA CIUDAD DE LA INNOVACIÓN, 5
31621 SARRIGUREN, NAVARRA, ES**

72 Inventor/es:

**GARCIA BARACE, ALBERTO;
EGAÑA SANTAMARINA, IGOR;
TORRES ELIZONDO, ANTONIO;
TONKS, STEPHEN;
AZANZA LADRÓN, EDUARDO;
GARCÍA SAYÉS, JOSÉ MIGUEL y
NUÑEZ POLO, MIGUEL**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 647 816 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

Método de control de una turbina eólica, y turbina eólica

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un método de control de una turbina eólica, siendo la turbina eólica de velocidad variable y con control del ángulo de paso de las paletas, con el fin de evaluar condiciones meteorológicas capaces de provocar sobrevelocidades en la rotación del rotor, con el fin de detectarlas e impedir las por medio de una reducción de la potencia.

De este modo, un primer objeto de la invención es proporcionar un método para detectar condiciones meteorológicas que afecten a la variabilidad de la velocidad de rotación del rotor.

15 Un segundo objeto de la invención es proporcionar una reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina.

Un tercer objeto de la invención es proporcionar un método para detectar con precisión las condiciones de parada, debido al exceso de viento.

20 Un cuarto objeto de la invención es una turbina eólica que comprende un rotor, un sistema de ajuste del paso de las paletas, y una unidad de cálculo ajustada para llevar a cabo el método de acuerdo con la presente invención.

Campo de aplicación

25 La presente memoria describe un método de control para turbinas eólicas con velocidad variable y control del paso de las paletas, que detecta un parámetro de control indicativo de las fluctuaciones en la velocidad de rotación del rotor, previsible como resultado de la turbulencia del viento, lo compara con un valor umbral, y reduce la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica si el parámetro de control excede el valor umbral.

30 De este modo, se reducen las cargas mecánicas asociadas a las paradas y los arranques, provocadas por la sobrevelocidad en la rotación del rotor, y se mantiene la producción de la turbina eólica durante condiciones de viento complicadas.

35 Antecedentes de la invención

Debido al tamaño medio creciente de los rotores instalados en turbinas eólicas, y a la necesidad de limitar las cargas producidas por el viento, al tiempo que se garantiza el máximo rendimiento posible, se han ampliado las tecnologías de velocidad variable y control del paso de las paletas.

40 Dichas turbinas eólicas funcionan mediante la maximización de su rendimiento aerodinámico durante condiciones de poco viento, gracias a su capacidad para funcionar con una velocidad de rotación variable del rotor, mediante la limitación de su velocidad de rotación al modular el par en el generador de potencia durante determinadas condiciones de viento medio, y mediante la limitación de la velocidad de rotación del rotor contra las ráfagas durante condiciones de viento fuerte, gracias al control del ángulo de paso de las paletas, generando una potencia nominal.

50 Durante dichas condiciones de viento fuerte, cuando la turbina eólica produce la potencia nominal y el ángulo de paso de las paletas limita la velocidad, se establece un conjunto de acciones de protección. Dichas acciones habitualmente comprenden llevar a cabo una operación de apagado, es decir, la desconexión de la turbina eólica, llevando las paletas a una posición de bandera cuando se supere una determinada velocidad de rotación del rotor o bien cuando se detecten ciertos valores del viento por encima de determinados umbrales, entre otras circunstancias. Sin embargo, aunque estas maniobras protegen la turbina eólica en condiciones climáticas severas, que pueden durar horas, también la someten a fatiga causada por la desconexión súbita y por el movimiento rápido de las paletas hacia la posición de bandera, e impiden la generación de energía durante el tiempo de parada.

55 Al mismo tiempo, para clasificar el viento se utiliza la intensidad de la turbulencia, que habitualmente se define como el cociente de la desviación estándar de la velocidad del viento dividida por la velocidad media del viento, evaluada durante un periodo de tiempo. La intensidad de la turbulencia medida en un lugar específico depende de la velocidad y la dirección del viento, la altura sobre el suelo y la complejidad del terreno circundante, entre otros factores.

60 La patente GB2428748 describe un método de operación de una turbina eólica que contempla, por encima de un valor límite preestablecido de la velocidad de viento, la reducción de la velocidad de rotación del rotor y/o la potencia del generador cuando se superan ciertos valores umbral en la dirección de impacto del viento, con respecto a la línea axial de la turbina y de la turbulencia del viento.

65 La solicitud de patente EP1988284 presenta un método de operación de una turbina eólica en el que se reducen la

velocidad de rotación del rotor y/o la potencia de salida, de acuerdo con la desviación de la velocidad del viento con respecto a su promedio, una vez superado un determinado valor umbral.

Descripción de la invención

La presente memoria describe un método de control para una turbina eólica con velocidad variable y control del paso de las paletas, de acuerdo con la reivindicación 1. El parámetro de control que se presenta en la presente invención refleja el efecto de la turbulencia sobre la variabilidad previsible en la velocidad del rotor. Por lo tanto, a diferencia de la intensidad de la turbulencia, una señal que ayuda a clasificar las propiedades del viento, el parámetro de control propuesto describe el efecto del viento sobre la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica.

Es posible acumular datos históricos de la turbina eólica durante su funcionamiento, mediante un sistema de control. A partir de dichos datos históricos es posible analizar a partir de qué valor umbral del parámetro de control se producen situaciones de sobrevelocidad, en la rotación del rotor. Dichos registros históricos pueden reemplazarse por simulaciones informáticas de la turbina eólica, evaluadas por dicho sistema de control, con el fin de deducir dicho umbral. De esta forma, ya sea mediante experimentación o simulación, es posible definir el valor umbral del parámetro de control.

Al comparar el parámetro de control con el valor umbral, se deduce si el riesgo de que se produzca una parada de emergencia es demasiado alto como para permitir ciertas condiciones operativas. A este efecto, mediante la correspondiente reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica, se evita el funcionamiento de la misma durante aquellas condiciones de trabajo en las que, en condiciones climáticas adversas, se producirían sobrevelocidades y, por lo tanto, paradas.

Dicho proceso de definición con un sistema de control del valor umbral del parámetro de control, que requiere las condiciones de funcionamiento apropiadas para una turbina eólica, puede repetirse para diferentes potenciales condiciones de reducción de la potencia y para diferentes algoritmos de control.

En una realización preferida de la invención, la señal indicativa de la energía eólica se obtiene a partir de un valor resultante de la cubicación de una señal indicativa del viento.

En una realización preferida de la invención, la señal indicativa de la turbulencia del viento se obtiene basándose en la desviación entre la señal indicativa del viento y el promedio de la señal indicativa del viento, durante un periodo de tiempo.

En una realización preferida, el ángulo de paso de las paletas se utiliza como la señal indicativa del viento.

De esta manera, la medición del viento utilizada para evaluar el parámetro de control comprende una medición resultante del viento sobre toda la superficie barrida por el rotor, y también evita el efecto inducido por las paletas al pasar sobre el equipo meteorológico, que habitualmente está situado en la góndola, a sotavento en relación con el rotor.

En otro aspecto de la invención, cuando la turbina eólica está detenida, a modo de señal indicativa del viento se utiliza una medición de un anemómetro situado en la góndola de la turbina, utilizando el parámetro de control para calcular la potencia máxima a generar mediante la turbina tras una puesta en marcha. Esta medición del parámetro de control puede ser redundante con respecto a la basada en el ángulo de paso de las paletas, y resulta útil en diversas situaciones. Por ejemplo, durante una puesta en marcha de la máquina es posible calcular la potencia máxima a generar mediante la turbina, si se dispone de la medición del parámetro de control basada en el anemómetro de la góndola.

Adicionalmente, para regular la velocidad de rotación del rotor en la zona de viento medio y de poco viento cuando no hay actividad en el sistema de control de paso de las paletas, puede utilizarse esta medición para garantizar el funcionamiento seguro de la turbina cuando se produzca un aumento de la velocidad media del viento, que obligue a controlar el ángulo de paso de las paletas para regular la velocidad.

El parámetro de control puede calcularse incluso si la turbina eólica está parada, que es una situación en la que, al mismo tiempo, la medición de la velocidad del viento no presenta perturbaciones causadas por el paso de las paletas. El parámetro de control calculado de esta manera se utiliza para distinguir si las condiciones meteorológicas requieren una reducción de la potencia, para evitar potenciales situaciones de sobrevelocidad en la rotación del rotor.

En otro objeto de la invención, el método comprende las siguientes etapas adicionales:

- obtener un segundo parámetro de control, indicativo de la gravedad de un cambio en la velocidad del viento, calculado como la integral del valor absoluto de la derivada de una segunda señal indicativa del viento,
- comparar el segundo parámetro de control con un segundo valor umbral,

- reducir la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica, si el segundo parámetro de control excede el segundo valor umbral.

Este segundo parámetro de control se calcula en un intervalo de tiempo diferente del anterior, el cual, en una realización preferida, es menor que el utilizado para calcular el primer parámetro de control. De esta manera, se protege la turbina eólica contra situaciones climáticas extremas transitorias.

Este segundo parámetro de control es accesorio al primer parámetro de control, ya que detecta dinámicas del viento en un intervalo diferente de frecuencias, que presentan la probabilidad de provocar una sobrevelocidad en el rotor de la turbina eólica.

En una realización preferida de la invención, se utiliza el ángulo de paso de las paletas a modo de la segunda señal indicativa del viento.

En un aspecto de la invención, la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica se lleva a cabo reduciendo la velocidad nominal de rotación del rotor, es decir, la velocidad de rotación de la turbina eólica cuando se produce la potencia máxima admisible.

En otro aspecto de la invención, la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica comprende también la etapa de aumentar el ángulo de paso mínimo de las paletas.

En otro aspecto de la invención, la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica comprende también la etapa de mantener sustancialmente constante el par requerido del generador, durante las condiciones de fuerte viento en las que se limita la velocidad de rotación del rotor por medio del control del ángulo de paso de las paletas.

Al adoptar el enfoque de par constante en la estrategia de reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina, se evita la potencial inestabilidad dinámica resultante de las potenciales estrategias de control de la potencia constante.

En otro objeto de la invención, el método de control comprende también las siguientes etapas adicionales:

- Obtener un tercer parámetro de control, indicativo de la velocidad del viento, basándose en el ángulo de paso de las paletas.
- Comparar el tercer parámetro de control con un tercer valor umbral.
- Activar la maniobra de apagado, si el tercer parámetro de control supera el tercer valor umbral.

Este método de control basado en un tercer parámetro de control garantiza que la turbina eólica solo funcione durante condiciones operativas de diseño, evitando las sobrecargas causadas por el exceso de viento.

De esta manera, la medición del viento utilizada para evaluar el parámetro de control comprende la medición resultante del viento sobre toda la superficie barrida por el rotor, y también evita el efecto inducido por el paso de las paletas sobre el equipo meteorológico, habitualmente situado en la góndola a sotavento.

En otro aspecto de la invención, también se comprueba la correlación entre el ángulo de paso de las paletas y una señal indicativa del impacto del viento sobre la turbina eólica, medida con al menos un anemómetro, de tal manera que, en caso de no verificar la misma, se active la maniobra de parada.

Entre otras causas, el hielo o la suciedad que se adhieran a las paletas pueden alterar la aerodinámica de las mismas. Entre otras causas, estas circunstancias provocan variaciones en la relación entre el ángulo de paso de las paletas y el viento promedio que incide sobre la turbina eólica, reduciendo la potencia máxima a generar. La comprobación de una buena correlación entre estas mediciones puede garantizar la fiabilidad de la estimación del viento promedio que incide sobre la turbina, basándose en el ángulo de paso de las paletas.

En una realización preferida, dicha correlación se lleva a cabo de tal manera que la señal indicativa del viento que incide sobre la turbina eólica provenga de al menos un anemómetro, situado sobre una turbina eólica o sobre una torre meteorológica cercana.

De esta manera, se aprovecha la existencia de anemómetros cercanos para aumentar la fiabilidad del sistema. Si el anemómetro de la góndola de la turbina eólica no funcionara correctamente, el viento que incide en la turbina podrá estimarse a partir de las señales procedentes de turbinas eólicas cercanas, o a partir de una medición procedente de una torre meteorológica cercana.

En otro objeto de la invención, se presenta una turbina eólica que comprende un rotor, un sistema de ajuste del ángulo de paso de las paletas, y una unidad de cálculo para llevar a cabo el método de control descrito anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

- Las Figuras 1 y 2 muestran la disposición típica de una turbina eólica, que comprende una torre, una góndola y un rotor, compuesto de varias paletas.
- 5 La Figura 3 muestra los componentes principales de la góndola, de acuerdo con una vista lateral.
- La Figura 4 muestra los módulos o etapas de una realización preferida de uno de los objetos del método y sistema de control de la invención.
- La Figura 5 muestra los módulos o etapas de una realización preferida de otro de los objetos del método y sistema de control de la invención.
- 10 La Figura 6 muestra los módulos o etapas de una realización preferida de otro de los objetos del método y sistema de control de la invención.
- La Figura 7 muestra la relación existente entre el ángulo de paso de las paletas de una turbina eólica, con velocidad variable y control del paso de las paletas hacia una posición en bandera, y el viento promedio que incide sobre la turbina eólica.
- 15 La Figura 8 muestra la gráfica de una curva estacionaria del par eléctrico, de acuerdo con la velocidad de rotación del rotor.

Descripción de una realización preferida

- 20 Las Figuras 1 y 2 muestran una turbina eólica, consistiendo dicha turbina eólica en una torre 3, una góndola 2 y un rotor 1, compuesto de varias paletas y que gira con respecto a un eje.
- La Figura 3 ilustra los componentes principales de la góndola desde un punto de vista lateral, de tal manera que dicho rotor de la turbina eólica gira alrededor de un eje 6 sustancialmente horizontal, comprendiendo la góndola principalmente un cubo 4, un árbol 5 de baja velocidad, un multiplicador 7 y un generador 8 de potencia, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. El conjunto está soportado por un bastidor 9.
- 25 La Figura 4 muestra los módulos o etapas de una realización preferida del método y el sistema de control de la invención. En una realización preferida de la invención, en una etapa 20 se calcula un parámetro de control (CP) indicativo de las fluctuaciones de la velocidad de rotación del rotor, previsible como resultado de la turbulencia del viento, basándose en una señal (Pw) indicativa de la energía eólica, calculada en una etapa 21, y en una señal (TI) indicativa de la intensidad de la turbulencia del viento, calculada en una etapa 22.
- 30 El parámetro de control (CP) se compara con un valor umbral (T), de tal manera que, si el parámetro de control sobrepasa dicho umbral, se introduce un modo seguro 24, reduciendo la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica. Si el parámetro de control (CP) no supera el umbral (T), la turbina eólica permanece en el modo operativo normal 23.
- 35 La reducción de la potencia máxima a generar solo afecta a la condición de fuerte viento, cuando se regula la velocidad de rotación del rotor mediante el ajuste del ángulo de paso de las paletas.
- 40 Con el fin de establecer el valor de dicho umbral (T), en una realización preferida se recogen datos históricos de una turbina eólica que funciona con un sistema de control y un conjunto determinado de parámetros de control. A partir de estos datos históricos puede analizarse la aparición de la sobrevelocidad, de acuerdo con el parámetro de control propuesto, y puede deducirse un valor umbral.
- 45 En una realización preferida, dicho valor umbral (T) se selecciona de manera que se maximice la energía producida teniendo en cuenta la concesión efectuada por la pérdida de disponibilidad debido a paradas de la turbina eólica por sobrevelocidad, y la reducción de potencia provocada por dicha estrategia, sin perjuicio de la vida útil de la turbina debido a la fatiga causada en cualquiera de los casos.
- 50 En otras realizaciones preferidas, podrían tenerse en cuenta otros criterios para seleccionar el valor umbral, como por ejemplo un aumento de la energía producida.
- 55 En una realización preferida, se selecciona un conjunto de valores umbral de potencia ordenados de menor a mayor, de tal manera que, de acuerdo con el número de valores umbral que supere el parámetro de control, se activa un nivel creciente de reducción de la potencia.
- 60 A este efecto, en dicha realización preferida en la que se selecciona un conjunto de valores umbral (T) ordenados de menor a mayor, si en el módulo 25 el parámetro de control (CP) sobrepasa en varias de las comparaciones el mismo número de valores umbral, el estado 23 será equivalente a mantener constante el nivel de reducción de la potencia máxima a generar. Por el contrario, si en la comparación 25 aumentara o disminuyera el número de valores umbral superados por el parámetro de control (CP), el estado 24 equivaldrá a un aumento o disminución del nivel de reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina.
- 65 En una realización preferida de la invención, la señal indicativa de la potencia eólica (Pw) se obtiene en la etapa 21

basándose en el valor resultante de calcular una señal indicativa del viento (S_w). En una realización preferida, adicionalmente, se calcula previamente el promedio ($\overline{S_w}$) de la señal indicativa del viento durante un periodo de tiempo.

$$P_w = (\overline{S_w})^3$$

En otro aspecto de la invención, en una realización preferida de la invención, en la etapa 22 se obtiene la señal indicativa de la turbulencia del viento (TI), basándose en la desviación entre la señal indicativa del viento (S_w) y el promedio de la señal indicativa del viento durante un periodo de tiempo.

En una realización preferida, la señal indicativa de la turbulencia del viento es la intensidad de la turbulencia definida como el cociente de la desviación estándar de una señal indicativa del viento, dividida por el promedio de dicha señal indicativa del viento ($\overline{S_w}$).

$$TI = \frac{\sigma(S_w)}{\overline{S_w}}$$

En una realización preferida, el parámetro de control (CP) se obtiene como el producto de la señal indicativa de la potencia eólica multiplicada por la señal indicativa de la turbulencia:

$$CP = P_w \cdot TI = (\overline{S_w})^2 \cdot \sigma(S_w)$$

Por lo general, las turbinas eólicas incorporan un anemómetro en la góndola, para medir la velocidad del viento. Esta medición del anemómetro puede utilizarse como la señal indicativa del viento (S_w). Sin embargo, en un generador que tenga un rotor orientado a barlovento, las mediciones obtenidas presentan el inconveniente de que acumulan el efecto de turbulencia provocado por el paso de las paletas. Adicionalmente, dichas mediciones son una medición en un solo punto, que no es totalmente representativa del viento que incide sobre el área barrida por el rotor. Existen otros parámetros operativos de la turbina que indican la velocidad del viento incidente sobre la turbina. En una realización preferida, en una etapa 26 se obtiene la señal indicativa del viento (S_w) basándose en el ángulo de paso (β) de las paletas, como una señal indicativa del viento (S_w).

El ángulo de paso de las paletas se utiliza para ajustar la energía eólica captada. La Figura 7 presenta la relación existente entre el promedio del viento que incide sobre la turbina eólica ($\overline{W}$) y el ángulo de paso (β) de las paletas, de una turbina eólica con velocidad variable y control del paso de las paletas mediante ajuste del ángulo de paso de las paletas hacia una posición en bandera. En general, dicho tipo de turbina eólica adopta una curva 15 mientras produce una potencia máxima a generar, igual a su potencia nominal. Con poco viento y con viento medio, cuando se produce una potencia inferior a la nominal, el ángulo de paso de las paletas se mantiene sustancialmente sobre un ángulo de paso mínimo 17 de las paletas y, con viento fuerte, cuando se produce una potencia media igual a la potencia nominal, se desplaza el ángulo de paso de las paletas hacia la posición en bandera, reduciendo el ángulo de ataque. Si se operara la turbina eólica con cierto nivel de reducción de la potencia, la relación entre el ángulo de paso de las paletas y el viento incidente sobre la turbina adoptaría una trayectoria 16 diferente.

De forma similar, las turbinas eólicas con velocidad variable y control mediante el ajuste del ángulo de paso de las paletas, hacia una posición de pérdida aerodinámica, también mantienen el ángulo de paso (β) de las paletas sustancialmente constante durante la condición de producción de potencia nominal, en un ángulo 17. Al mismo tiempo, con fuerte viento la potencia se mantiene constante mediante el aumento del ángulo de ataque. De manera similar, el ángulo de paso mínimo 17 de las paletas al que se refiere la invención, en el caso de turbinas eólicas con velocidad variable y control mediante el ajuste del ángulo de paso de las paletas hacia la posición de pérdida aerodinámica, corresponde a un ángulo de paso máximo de las paletas.

Por lo tanto, en una realización preferida la señal indicativa del viento (S_w) se calcula basándose en el ángulo de paso de las paletas, y en la relación 15 entre el ángulo de paso de las paletas y el viento.

$$S_w = g(\beta)$$

En una realización preferida de la invención, puede utilizarse esta última expresión para deducir el parámetro de control (CP) de acuerdo con la siguiente expresión,

$$CP = (\overline{Sw})^2 \cdot \sigma(Sw) \approx g^2(\beta) \cdot \sigma(g(\beta)) \approx g^2(\beta) \cdot \left. \frac{\partial g}{\partial \beta} \right|_{\beta} \cdot \sigma(\beta)$$

Siendo β el ángulo de paso medio.

- 5 La Figura 8 ilustra una curva estacionaria del par eléctrico requerido del generador de potencia, de acuerdo con la velocidad de rotación del rotor solicitada por el sistema de control en el caso de una turbina eólica de velocidad variable. En dicha curva se aprecia una zona 10 de generación de energía para poco viento, en la que se maximiza el rendimiento aerodinámico gracias a la capacidad de funcionamiento de la turbina a una velocidad variable, una zona 11 de generación con viento medio en la que la velocidad de rotación se limita a la velocidad nominal 18, modulado el par en el generador de potencia, y un punto 12 de generación de potencia nominal con viento fuerte, cuya velocidad de rotación se regula por medio del control del ángulo de paso de las paletas. Dicho ajuste se lleva a cabo por medio de una referencia de la velocidad de rotación, que se ajusta a la velocidad nominal 18. En dicho punto estacionario de generación de potencia nominal, se permiten variaciones en la velocidad de rotación del rotor de manera transitoria, que pueden ser de acuerdo con una determinada curva 13 de potencia constante, o de acuerdo con una determinada curva 14 de par constante, o incluso a través de una estrategia que combine los dos.

La velocidad del viento procedente de un anemómetro situado en la góndola de la turbina, incluso con los inconvenientes anteriormente mencionados, proporciona una estimación redundante indicativa del viento. En una realización preferida, se utilizan las mediciones de un anemómetro para calcular el parámetro de control en aquellas condiciones operativas de la máquina en las que no se cuenta con un control activo del ángulo de paso de las paletas, para regular la velocidad de rotación del rotor. De esta manera, es posible contemplar reducciones en la potencia máxima a generar durante la puesta en marcha de la turbina eólica, o durante las transiciones entre viento medio y fuerte viento.

En una realización preferida, el periodo de tiempo para el cual se toman mediciones de señales indicativas del viento y de la intensidad de turbulencia del viento, para estimar el parámetro de control propuesto, es de 10 minutos.

La Figura 5 muestra los módulos o etapas de una realización preferida, en la que se obtiene un segundo parámetro de control (CP2), en 27, indicativo de la gravedad de un cambio en la velocidad del viento, que se calcula basándose en la integral del valor absoluto de la derivada de una segunda señal indicativa del viento (Sw2), obtenida en un módulo 26,

$$CP2 = \int_0^{t_0+\Delta t} \left| \frac{dSw2}{dt} \right| \cdot dt$$

En una realización preferida, la segunda señal indicativa del viento (Sw2) se obtiene a partir del ángulo de paso de las paletas.

El segundo parámetro de control (CP2) se compara con un segundo valor umbral (T2), en 28, de tal manera que se reduzca la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica al pasar al modo seguro 24, definido por cierta reducción de la potencia máxima a generar si el parámetro de control excede dicho umbral. En caso contrario, se mantiene el modo normal 23. El modo seguro 24, que se activa cuando el segundo parámetro de control (CP2) supera el umbral (T2), dura un determinado periodo de tiempo, regresando luego al modo normal 23. El modo normal 23 así definido puede incluir perfectamente cualquier nivel de reducción de la potencia, activado por el parámetro de control (CP).

En una realización preferida, el umbral (T2) se calcula basándose en datos históricos, mediante un procedimiento similar al ya descrito en el presente documento para ajustar el umbral (U).

En una realización preferida de la invención, este segundo parámetro de control se evalúa en intervalos de tiempo de entre 20 y 30 segundos.

Cuando el parámetro de control (CP) o el parámetro de control (CP2) excede sus respectivos límites, la turbina eólica entra en un modo seguro 24. Dicho modo seguro consiste en una reducción de la potencia generada, y su objetivo es reducir las probabilidades de parada de la turbina debido a la sobrevelocidad. En una realización preferida, la reducción de la potencia máxima a generar se lleva a cabo reduciendo la referencia de la velocidad de rotación del rotor, es decir la velocidad nominal 18.

En una realización preferida, la reducción de la velocidad nominal 18 afecta a la zona de fuerte viento, es decir a la zona 12 de producción de potencia nominal, y afecta por igual a la zona de limitación de la velocidad de rotación al modular el par, es decir la zona 11 de viento medio.

Alternativamente, en otra realización preferida, la reducción de la velocidad nominal 18 afecta exclusivamente a la zona de fuerte viento, es decir, a la zona 12 de producción de potencia nominal, al mismo tiempo que se mantiene fija la velocidad en la zona 11 de viento medio.

5 En una realización preferida, se aplica un filtro de paso bajo para suavizar el cambio en la velocidad de rotación del rotor.

10 En una realización preferida, la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica comprende adicionalmente la etapa de incrementar el ángulo de paso mínimo 17 de las paletas. En la Figura 7 puede observarse la curva 15 del ángulo de paso de las paletas en el modo normal 23, y una curva 16 correspondiente al modo seguro 24.

15 En una realización preferida, la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica comprende adicionalmente la etapa de mantener constante el par requerido. En la Figura 8 puede observarse un control 13 de par constante, correspondiente al modo normal 23, y un control 14 de par constante, correspondiente al modo seguro 24.

20 La Figura 6 muestra los módulos o etapas de una realización preferida del método y sistema de control de otro aspecto de la invención, en la que en 29 se obtiene un tercer parámetro de control (CP3) a partir de un tercer valor indicativo del viento (Sw3), obtenido en 26 basándose en el ángulo de paso de las paletas. Dicho tercer parámetro de control (CP3) indicativo del viento se compara con un tercer parámetro umbral (T3), de tal manera que, si se supera el mismo, se activa la maniobra de parada 31. En caso contrario la turbina eólica sigue funcionando, en 32.

25 En una realización preferida, el tercer valor umbral no es único, sino que se selecciona un conjunto de valores umbral de potencia dependiendo de la reducción aplicada anteriormente a la potencia máxima a generar. En una realización preferida, dicho conjunto de valores umbral se obtiene por medio de simulaciones informáticas.

30 En otro aspecto de la invención, para llevar a cabo una reducción de la potencia máxima se verifica la correlación entre el ángulo de paso de las paletas y el viento incidente sobre la turbina eólica, medido con al menos un anemómetro, y, si dicha verificación es negativa, se ejecuta una maniobra de parada 31.

35 En una realización preferida, se obtienen varias curvas 15 que relacionan el ángulo de paso (β) de las paletas y el viento incidente sobre el rotor (V), para cada reducción de la potencia máxima, y se obtiene un margen de tolerancia de ajuste a dichas curvas para cada condición de funcionamiento estimada. Dicha correlación se lleva a cabo a partir de promedios o de señales filtradas del ángulo de paso (β) de las paletas y del viento, medido con un anemómetro, los cuales, en una realización preferida, incluyen muestras tomadas en un periodo total de 10 minutos.

40 En una realización preferida, la señal indicativa del viento que afecta a la turbina eólica proviene de al menos un anemómetro, situado sobre la góndola de la propia turbina eólica.

45 En otro aspecto de la invención, en una realización preferida, en caso de no contar con la señal del viento procedente de un anemómetro instalado en la góndola de la propia turbina, la correlación entre el viento que afecta al rotor y el ángulo de paso de las paletas se lleva a cabo a través de una estimación del viento que incide sobre la turbina, que se calcula basándose en una señal procedente de al menos una turbina adyacente o de una torre meteorológica cercana.

50 Con este fin, las turbinas eólicas envían a una unidad, que controla el parque eólico, la estimación de la velocidad y dirección del viento incidente, desde sus propios anemómetros y álambres de viento situados en la góndola, y un indicador relativo a la fiabilidad de dicha señal. Dicho indicador de fiabilidad puede estimarse, por ejemplo, a partir de la correlación entre la velocidad del viento, proporcionada por el anemómetro, y el ángulo de paso de las paletas.

Las etapas 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32 podrían ser módulos independientes o, alternativamente, podría ajustarse una unidad de cálculo para llevar a cabo los cálculos descritos anteriormente.

55 En una realización alternativa, cuando uno de los parámetros de control descritos anteriormente excede su correspondiente valor umbral, se modifica el bucle de control de la velocidad y/o la potencia, para modificar su dinámica. Por lo general, el bucle de control de la velocidad actúa sobre el sistema de ajuste del ángulo de paso de las paletas, mientras que el bucle de control de la potencia actúa sobre el par requerido del generador. Al permitir una dinámica más rápida del ángulo de paso de las paletas y/o del par en el generador, se logra un control que presenta una mayor capacidad de respuesta a posibles sobrevelocidades, causadas por ráfagas de viento. En una realización preferida, dicha modificación de la dinámica se lleva a cabo a través de un cambio en los parámetros del controlador, por ejemplo modificando las ganancias de un controlador de tipo integral-proporcional (PI), o bien a través de la modificación del filtrado de la señal que alimenta al propio controlador, o a través del aumento de los límites de saturación de la velocidad angular del sistema de ajuste del paso de las paletas, o a través de una combinación de varias de tales modificaciones. Por lo tanto, esta es una forma alternativa de evitar las

60

65

sobrevelocidades, que puede reemplazar la reducción de la potencia y/o la velocidad. Alternativamente, de forma simultánea, pueden modificarse los bucles de control y puede reducirse la potencia y/o la velocidad de la máquina.

- 5 En el modo de funcionamiento mediante el cual la turbina eólica limita su potencia a través de la variación del ángulo de paso de las paletas, la velocidad de rotación del rotor no es una señal indicativa de la velocidad del viento. Sin embargo, la dinámica de los transitorios en la velocidad del viento produce transitorios en la velocidad del rotor, lo que hace que se active el sistema de control y ajuste el ángulo de paso de las paletas. De esta manera, el sistema de control mantiene controlada la velocidad de rotación del rotor cerca de un valor de referencia.
- 10 En una realización para el cálculo del segundo parámetro de control descrito anteriormente, se utiliza la aceleración de la rotación del rotor como señal indicativa de la derivada del viento. Dicha aceleración puede medirse o estimarse. De manera equivalente, puede utilizarse la aceleración en la rotación del generador de potencia.

REIVINDICACIONES

1. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA, del tipo con velocidad variable y control del ángulo de paso de las paletas, **caracterizado por que** comprende las siguientes etapas:

- a. determinar una señal indicativa de la potencia del viento y una señal indicativa de la intensidad de la turbulencia del viento;
- b. calcular un parámetro de control basándose en la señal indicativa de la potencia del viento y en la señal indicativa de la intensidad de la turbulencia del viento, en el que dicho parámetro de control es indicativo de las fluctuaciones previsibles de la velocidad de rotación del rotor, debido a la turbulencia del viento,
- c. comparar el parámetro de control con un valor umbral a partir del cual se producen situaciones de sobrevelocidad del rotor,
- d. reducir la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica, si el parámetro de control excede dicho umbral, de manera que se evite la sobrevelocidad del rotor y, por lo tanto, las paradas de la turbina eólica.

2. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**, en la etapa b, el parámetro de control se calcula como:

$$C_p = P_w * T_I$$

en el que C_p es el parámetro de control, P_w es la señal indicativa de la potencia del viento y T_I es la señal indicativa de la intensidad de la turbulencia del viento.

3. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la señal indicativa de la potencia del viento y la señal indicativa de la intensidad de la turbulencia del viento se calculan basándose en una señal indicativa del viento.

4. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** la señal indicativa de la potencia del viento se obtiene a partir de un valor resultante de cubicar una señal indicativa del viento.

5. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado por que** la señal indicativa de la potencia del viento se obtiene desde un anemómetro.

6. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el anemómetro está situado sobre la turbina eólica.

7. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el anemómetro está situado sobre una torre meteorológica.

8. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizado por que** se utiliza el ángulo de paso de las paletas como señal indicativa del viento.

9. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, **caracterizado por que** la señal indicativa de la turbulencia del viento se obtiene a partir de la desviación entre la señal indicativa del viento y el promedio de la señal indicativa del viento, durante un periodo de tiempo.

10. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, **caracterizado por que**, cuando la turbina eólica está parada, se utiliza una medición de un anemómetro situado sobre la góndola de la turbina como señal indicativa del viento, utilizando el parámetro de control para calcular la potencia máxima a generar mediante la turbina tras una puesta en marcha.

11. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende las siguientes etapas adicionales:

- e. calcular un segundo parámetro de control, como la integral del valor absoluto de una derivada de una segunda señal indicativa del viento, siendo dicho segundo parámetro de control indicativo de la gravedad de un cambio en la velocidad calculada del viento,
- f. comparar el segundo parámetro de control con un segundo valor umbral,
- g. reducir la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica, si el segundo parámetro de control excede el segundo valor umbral.

12. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado por que** utiliza el ángulo de paso de las paletas como segunda señal indicativa del viento.

13. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica se lleva a cabo mediante la reducción de la velocidad nominal (18) del rotor, es decir, la velocidad de rotación de la turbina eólica cuando se produce la potencia máxima admisible.

5 14. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por que** la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica comprende también la etapa de incrementar el ángulo de paso mínimo (17) de las paletas.

10 15. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado por que** la reducción de la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica comprende también la etapa, durante la condición (12) de fuerte viento en la que se limita la velocidad de rotación del rotor mediante el control del ángulo de paso de las paletas, de mantener sustancialmente constante el par requerido del generador (14).

15 16. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** también comprende las siguientes etapas adicionales:

h. obtener un tercer parámetro de control indicativo de la velocidad del viento, basándose en el ángulo de paso de las paletas,

20 i. comparar el tercer parámetro de control con un tercer valor umbral,

j. activar la maniobra de parada, si el tercer parámetro de control excede el tercer valor umbral.

25 17. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado por que** se verifica la correlación entre el ángulo de paso de las paletas y una señal indicativa del viento que incide sobre la turbina eólica, procedente de al menos un anemómetro, de tal manera que, si no se cumple la verificación, se activa la maniobra de parada.

30 18. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 17, **caracterizado por que** la señal indicativa del viento que incide sobre la turbina eólica proviene de un control central, que la calcula a partir de al menos un anemómetro situado sobre una turbina eólica o una torre meteorológica cercana.

19. MÉTODO DE CONTROL DE UNA TURBINA EÓLICA de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende las siguientes etapas adicionales:

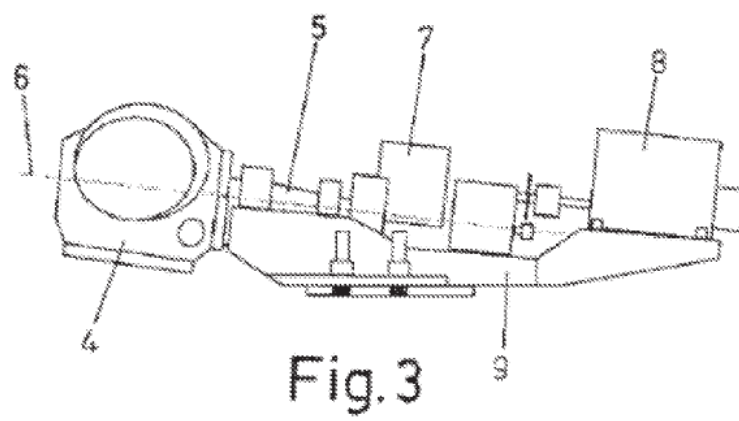
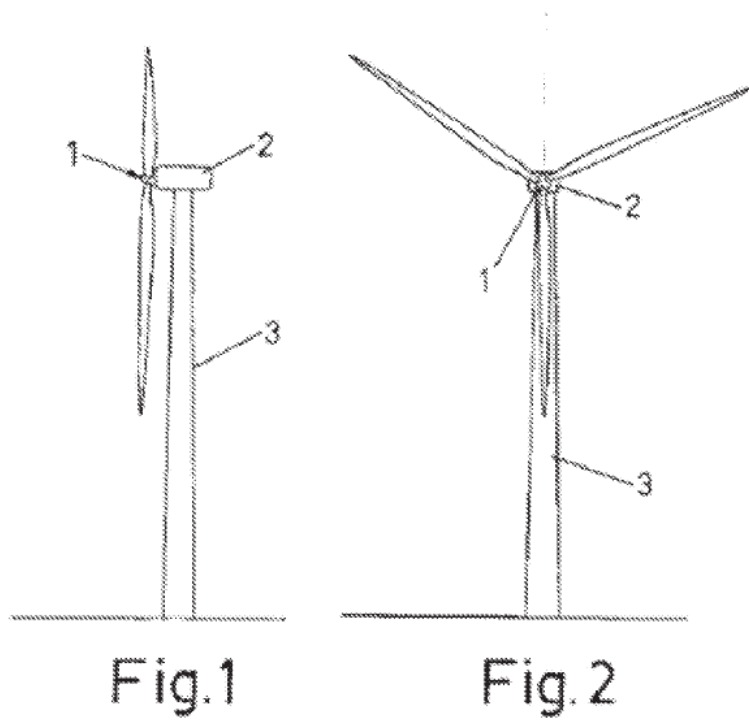
35 k. obtener un segundo parámetro de control, indicativo de la gravedad de un cambio en la velocidad del viento, que se calcula como la integral del valor absoluto de la derivada de una segunda señal indicativa del viento,

l. comparar el segundo parámetro de control con un segundo valor umbral,

40 m. si el segundo parámetro de control supera el valor umbral, reducir la potencia máxima a generar mediante la turbina eólica y/o reducir la velocidad de rotación del rotor y/o modificar la dinámica de los bucles de control de la velocidad y la potencia.

20. TURBINA EÓLICA, que comprende un rotor, un sistema de ajuste del paso de las paletas y una unidad de cálculo, **caracterizada por que** está configurada para llevar a cabo un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

45



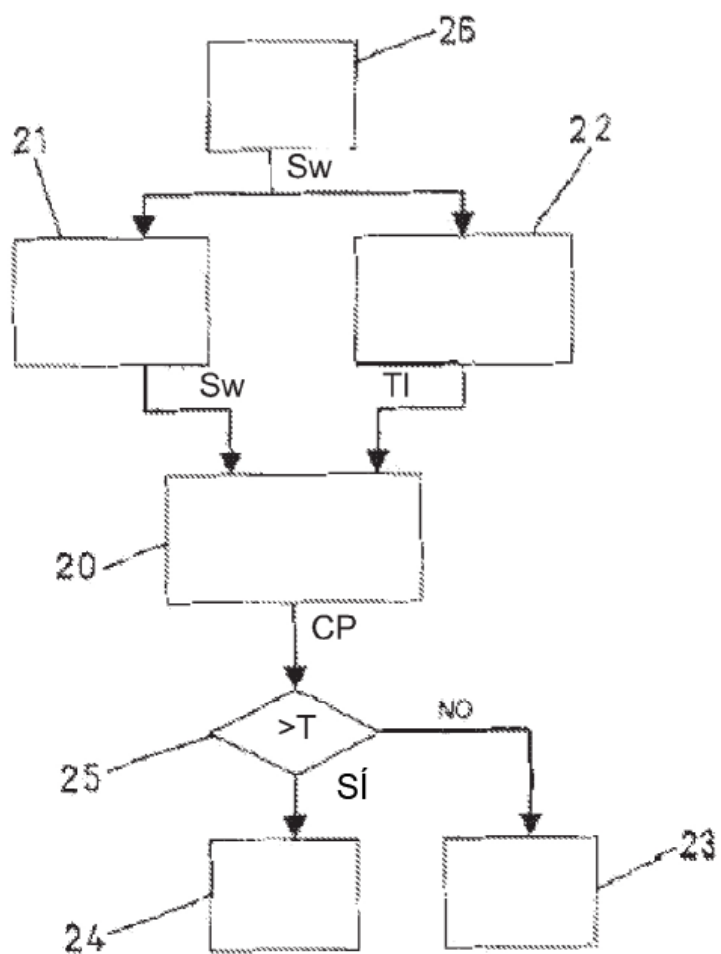


Fig. 4

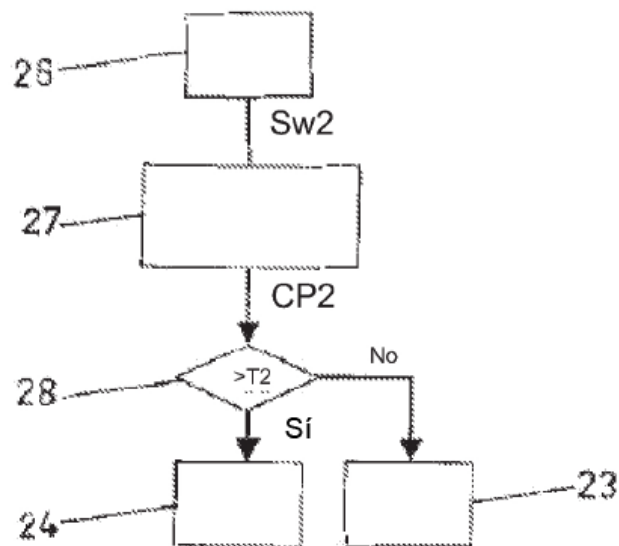


Fig.5

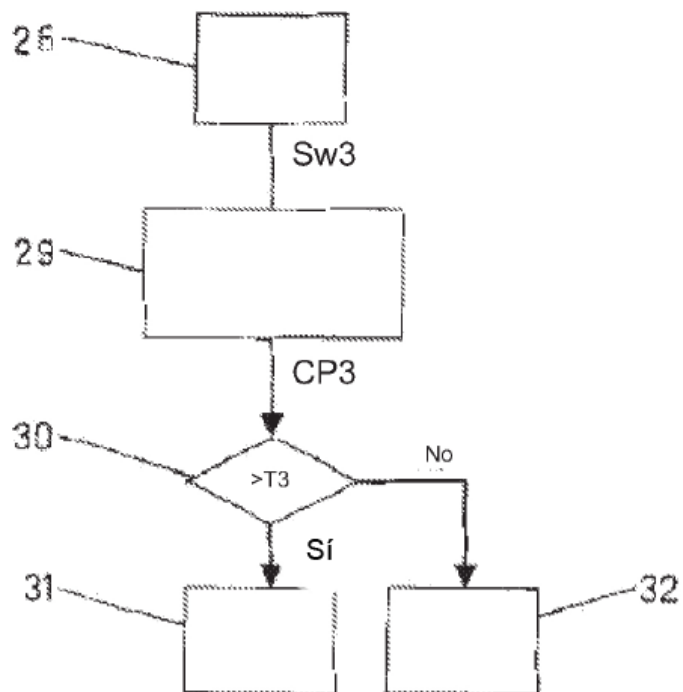


Fig.6

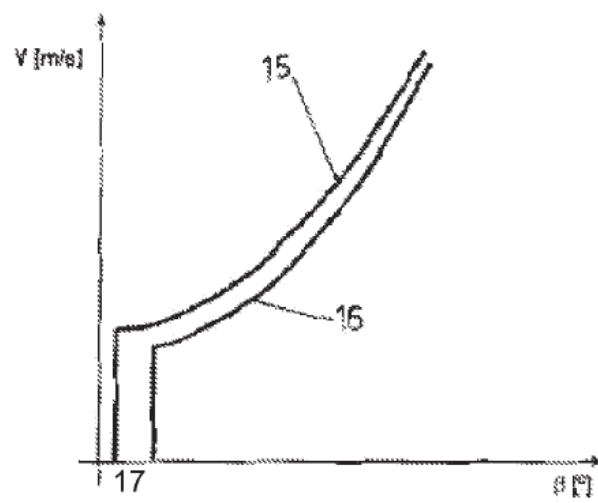


Fig. 7

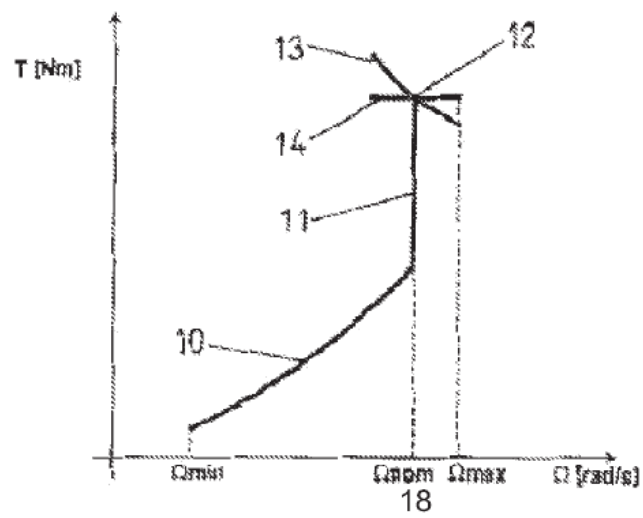


Fig. 8