(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 666 069**

(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: **18.09.2013** **E 13184942 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018** **EP 2851559**

(54) Título: **Método y disposición para controlar un movimiento de rotor de un rotor de turbina eólica**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2018

(73) Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE

(72) Inventor/es:

EGEDAL, PER;
KALLESOEE, BJARNE SKOVMOSE y
LAURBERG, HANS

(74) Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 666 069 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).

MÉTODO Y DISPOSICIÓN PARA CONTROLAR UN MOVIMIENTO DE ROTOR DE UN ROTOR DE TURBINA EÓLICA

DESCRIPCIÓN

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método y a una disposición para controlar un movimiento de rotor de un rotor de una turbina eólica.

Técnica anterior

Una turbina eólica puede comprender una torre de turbina eólica, una góndola montada en la parte superior de la torre, teniendo la góndola un rotor soportado en la misma, en la que el rotor tiene unidas al mismo dos o más palas de rotor que, tras el impacto del viento, accionan el rotor en rotación. Tras lo cual, usando un generador eléctrico, puede producirse energía eléctrica y puede suministrarse mediante una red de transmisión a una red de distribución para proporcionar energía eléctrica a numerosos consumidores.

Dependiendo de las condiciones de viento, en particular la velocidad de viento y/o la dirección de viento, el rotor puede rotar con diferentes velocidades de rotor. De este modo, puede requerirse que el rotor rote dentro de límites aceptables, tales como, en particular, por debajo de un límite de velocidad de rotor (crítico). Cuando se aproxima el límite de velocidad de rotor crítico o incluso cuando se excede el límite de velocidad de rotor, puede imponerse una carga mecánica pesada, en particular una carga extrema sobre componentes de la turbina eólica, tal como un cojinete, palas, la resistencia mecánica de componentes, tales como árbol de rotación, etc. Por tanto, en una turbina eólica convencional, pueden instalarse varios sistemas de seguridad. Una situación de falla puede ser un fallo de controlador de turbina, en el que el servosistema de cabeceo realiza el cabeceo de todas las palas a una posición de funcionamiento completo. Sin un sistema de seguridad, esta situación puede dar como resultado una sobrevelocidad desfavorable del rotor. En la posición de funcionamiento completo (también denominada de cabeceo afinado) la pala de rotor se orienta con respecto a su ángulo de cabeceo para una transferencia óptima de energía eólica en energía de rotación del rotor para producir energía eléctrica. La posición de funcionamiento completo, por el contrario, está en una posición de detención en la que solamente se transfiere una pequeña parte de energía eólica a un movimiento de rotación lento para hacer funcionar la turbina eólica en un modo loco (ninguna o muy poca producción de energía). Por tanto, realizar el cabeceo afinado de la(s) pala(s) significa realizar el cabeceo de la(s) pala(s) de rotor a producción completa. En la situación de falla en la que se trata de un fallo de controlador de turbina, en la que el servosistema de cabeceo realiza el cabeceo de todas las palas a producción completa, en una turbina eólica convencional, se activaría el sistema de emergencia de cabeceo que usa la estrategia de seguridad convencional, cuando la velocidad de rotor se aproxima al límite de velocidad para el elemento de protección frente a sobrevelocidad. Sin embargo, usando esta estrategia de seguridad, el fallo de controlador puede dar como resultado una carga extrema que puede provocar problemas posteriores. Puede existir una necesidad de un método y de una disposición para controlar un movimiento de un rotor, con el fin de reducir o mitigar o incluso evitar algunos de los problemas mencionados anteriormente. En particular, puede existir una necesidad de un método y una disposición (en particular método y sistema de cabeceo de pala de emergencia) para controlar un movimiento de rotor, con el fin de evitar cargas mecánicas pesadas sobre componentes de la turbina eólica en varias condiciones, en particular, condiciones de viento elevado y/o condiciones de fallo de controlador.

El documento US 2011/0221194 A1 proporciona un ejemplo de control del movimiento de rotor limitando la aceleración de rotor a un valor establecido según la velocidad de rotor.

Sumario de la invención

Esta necesidad puede satisfacerse por el contenido de las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones particulares de la presente invención. Según una realización de la presente invención se proporciona un método (en particular un método de cabeceo de pala de emergencia) para controlar un movimiento de rotor de un rotor de una turbina eólica, comprendiendo el método determinar un valor de aceleración de rotor actual y controlar el movimiento de rotor basándose en el valor de aceleración de rotor medido.

Por ejemplo, el método puede realizarse mediante un controlador de turbina eólica y/o un controlador de parque eólico. Por ejemplo, el movimiento de rotor puede estar caracterizado por la velocidad de rotor y la aceleración de rotor. En particular, la aceleración de rotor puede referirse a tiempo derivado de una velocidad de rotor, en el que la velocidad de rotor representa la velocidad angular con la que el rotor rota alrededor de su eje de rotación que es paralelo a un árbol de rotor que se soporta en una góndola de la turbina eólica.

Por ejemplo, el valor de aceleración de rotor actual puede derivarse de o calcularse a partir de uno o más valores de medición, que se basan por ejemplo en una salida de energía de la turbina eólica, una salida de tensión de la turbina eólica, o en particular, que se basan en una aceleración de rotor medida de manera real, usando un codificador o acelerómetro o giroscopio. El control del movimiento de rotor puede comprender mantener, cambiar y/o ajustar una

velocidad de rotor y/o una aceleración de rotor. Cuando se controla el movimiento de rotor, el valor de aceleración de rotor (medido) se tiene en consideración. En particular, para diferentes valores de aceleración de rotación (medidos), el control del movimiento de rotor puede realizarse de manera diferente.

En particular, según una realización de la presente invención, se propone un nuevo método de detección, que se basa en una aceleración medida de la velocidad de rotor. El método pude usar uno o más límites de aceleración y los límites de aceleración pueden tenerse en consideración para controlar el movimiento de rotor. La detección de una situación de falla basándose en la aceleración, es decir la aceleración de rotor, además de o en lugar de una detección de sobrevelocidad, puede permitir reaccionar a una condición de falla mucho antes y en particular antes de que la velocidad de rotor alcance un límite crítico. De este modo, una carga mecánica puede reducirse o incluso evitarse. Además, según una realización de la presente invención, esta clase de situación de falla de controlador puede no aportar cargas de accionamiento diseñadas y de este modo pueden ahorrarse costes de material.

Según una realización de la presente invención, controlar el movimiento de rotor se basa además en un valor de velocidad de rotor actual, en la que se definen límites de aceleración particulares en función de la velocidad de rotor. Por tanto, puede tenerse en consideración una combinación de valor de velocidad de rotor actual y valor de aceleración de rotor actual para controlar el movimiento de rotor que puede proporcionar una flexibilidad mayor, en particular con el fin de reducir incluso adicionalmente las cargas mecánicas experimentadas por componentes de la turbina eólica.

Cuando se definen uno o más límites de aceleración en función de la velocidad de rotor, una influencia de deterioro puede depender tanto de la velocidad de rotor como de la aceleración de rotor. Por ejemplo, a una velocidad de rotor relativamente baja, puede tolerarse una aceleración de rotor que es relativamente alta, mientras que para una velocidad de rotor relativamente alta, puede tolerarse una aceleración de rotor o aceleración de rotor relativamente más baja. De este modo, puede definirse una región de funcionamiento deseable para hacer funcionar el rotor de manera más precisa de manera que puedan evitarse condiciones de cargas pesadas.

Según una realización de la presente invención, controlar el movimiento de rotor comprende controlar una velocidad de rotor y la aceleración de rotor. Pueden tomarse varias mediciones para controlar la velocidad de rotor y/o aceleración de rotor. Por ejemplo, puede ajustarse un par generado por un generador de la turbina eólica, tal como para influir, cambiar o mantener la velocidad de rotor y/o aceleración de rotor. Además, puede controlarse un sistema de accionamiento de guiñada, con el fin de hacer rotar la turbina eólica (en una dirección vertical) hacia fuera o hacia dentro de una dirección de viento. Además, alternativa o adicionalmente, puede hacerse funcionar un servosistema de pala de rotor, con el fin de ajustar, cambiar o mantener un ángulo de cabeceo de pala de rotor, que define una orientación de palas de rotor conectadas al rotor. En particular, el ángulo de cabeceo de pala de rotor puede definir una orientación de la pala de rotor con respecto a un eje longitudinal de la pala de rotor (estando el eje longitudinal de la pala de rotor en un plano perpendicular al eje de rotación del rotor). Mediante el cambio del ángulo de cabeceo de pala de rotor, la transferencia de momento del viento a la pala de rotor y por tanto la fuerza de accionamiento del viento para hacer rotar el rotor pueden verse influidos. De este modo, la velocidad de rotor y/o aceleración de rotor pueden controlarse, ajustarse y/o cambiarse.

Según una realización de la presente invención, el control de la velocidad de rotor incluye reducir la velocidad de rotor. En particular, cuando el valor de velocidad de rotor actual se aproxima a un límite de velocidad de rotor crítico, la velocidad de rotor puede reducirse o al menos mantenerse por debajo del límite de velocidad de rotor crítico. De este modo, el límite de velocidad de rotor crítico también puede depender de la aceleración de rotor actual. En particular, para una aceleración de rotor actual relativamente alta, el límite de velocidad de rotor crítico puede ser más bajo que el límite de velocidad de rotor crítico para una aceleración de rotor relativamente más baja o aceleración de rotor actual.

De este modo, una región de funcionamiento deseable del rotor puede definirse de manera precisa, aumentando de este modo en particular la eficacia de la turbina eólica y al mismo tiempo reduciendo cargas mecánicas.

Según una realización de la presente invención, controlar el movimiento de rotor se realiza de manera que el valor de velocidad de rotor y el valor de aceleración de rotor se encuentran dentro de un conjunto de 2-tuplas pero no fuera el conjunto de 2-tuplas.

El conjunto de 2-tuplas puede definir la región de funcionamiento en la que el rotor puede hacerse funcionar de manera segura sin imponer cargas demasiado pesadas en componentes de la turbina eólica.

Por el contrario, puede no ser deseable hacer funcionar el rotor fuera del conjunto de 2-tuplas, dado que componentes de la turbina eólica pueden experimentar cargas relativamente altas o incluso cargas críticas con el riesgo de sufrir daños cuando se hacen funcionar fuera del conjunto de 2-tuplas.

Ventajosamente, el método según esta realización puede garantizar, que el rotor se hace funcionar en la región de funcionamiento prevista.

Según una realización de la presente invención, el conjunto de 2-tuplas puede definirse como una región continua en un sistema de coordenadas de velocidad de rotor/aceleración de rotor que se limita por una curva de limitación que se obtiene parcialmente conectando de manera sucesiva, en particular de manera recta usando líneas segunda, tercera y cuarta, cuatro puntos uno con respecto a otro, definiendo cada punto una 2-tupla que comprende un valor de velocidad de rotor y un valor de aceleración de rotor respectivos.

Por ejemplo, la curva de limitación puede ser una línea que tiene secciones de líneas rectas que se conectan en los cuatro puntos. El uso de cuatro puntos para definir la curva de limitación puede simplificar el método. En otras realizaciones, pueden usarse más (por ejemplo 5 - 10 ó 5 - 100) o menos (por ejemplo 1 - 3 ó 1 - 4) puntos para definir la curva de limitación.

Adicional o alternativamente a una curva de limitación definida por varias líneas rectas, también pueden usarse líneas curvas para definir la curva de limitación, en particular líneas curvas que conectan de manera sucesiva los cuatro puntos uno con respecto a otro.

Según una realización de la presente invención, los cuatro puntos comprenden un primer punto que tiene un primer valor w1 de velocidad de rotor y un primer valor a1 de aceleración de rotor, un segundo punto que tiene un segundo valor w2 de velocidad de rotor y un segundo valor a2 de aceleración de rotor, un tercer punto que tiene un tercer valor w3 de velocidad de rotor y un tercer valor a3 de aceleración de rotor, y un cuarto punto que tiene un cuarto valor w4 de velocidad de rotor y un cuarto valor a4 de aceleración de rotor, en el que mantiene al menos uno de los siguientes: $w1 < w2$, $a1 = a2$, $w2 < w3$, $a2 > a3$, $w3 = w4$, $a3 > a4$, $a4 = 0$.

Cuando $w1 < w2$ y $a1 = a2$ los puntos por debajo de una línea que conecta el primer punto y el segundo punto pueden pertenecer al conjunto de 2-tuplas y de este modo, el método puede garantizar que la aceleración de rotor permanece por debajo del valor a1 de aceleración de rotor. Si estuviera permitido por el método que la aceleración de rotor actual exceda el valor a1 de aceleración de rotor, entonces existiría el riesgo de que una situación de sobrevelocidad de un rotor evolucionara muy rápido, como la aceleración de rotor es relativamente alta de manera que de manera muy rápida, la velocidad de rotor puede evolucionar para aproximarse o incluso exceder un límite de velocidad de rotor crítico. De este modo, al garantizar que el valor de aceleración de rotor permanece por debajo del valor a1 de aceleración de rotor, puede evitarse una situación posiblemente dañina y problemática de este tipo.

Además, cuando $w2 < w3$ y además cuando $w1 < w2$ y cuando $a2 > a3$, significa que a una velocidad de rotor relativamente más alta, se considera una aceleración de rotor relativamente más baja por el método como crítica de manera que el método garantiza mantener la velocidad de rotor por debajo del valor w3 de velocidad de rotor incluso para los valores de aceleración de rotor que están por debajo de a3, con el fin de reducir o incluso evitar daños mecánicos.

Además, el valor w2 de velocidad de rotor puede estar por debajo de un límite de velocidad de rotor crítico absoluto, tal como w3. No obstante, según el método de control, incluso en este valor w2 de velocidad de rotor, el movimiento de rotor se controla de manera que el valor de aceleración de rotor permanece por debajo del segundo valor a2 de aceleración de rotor. Esto es debido a que si el valor de aceleración de rotor no se mantuviera por debajo del segundo valor a2 de aceleración de rotor, podría haber un riesgo de que la velocidad de rotor se aproxime de manera rápida a un límite de velocidad de rotor crítico, tal como por ejemplo el valor w3 de velocidad de rotor.

Por tanto, el método según esta realización puede reaccionar de manera rápida, y en particular antes que un método convencional, con el fin de garantizar que la velocidad de rotor permanezca por debajo de la velocidad de rotor crítica.

El cuarto valor a4 de aceleración de rotor puede tomar otros valores distintos a 0.

Según una realización de la presente invención, mantiene al menos uno de los siguientes: $2 \text{ grad/s}^2 < a1 < 4 \text{ grad/s}^2$, $0 \text{ grad/s}^2 < a3 < 3 \text{ grad/s}^2$, $8 \text{ rpm} < w1 < 12 \text{ rpm}$, $10 \text{ rpm} < w3 < 13 \text{ rpm}$.

En particular, a1 puede ascender a aproximadamente 3 grad/s^2, a3 puede ascender a aproximadamente 1,3 grad/s^2. Además, en particular, w1 puede ascender a aproximadamente 10 rpm y w3 puede, por ejemplo, ascender a aproximadamente 11,3 rpm.

Los valores para los diferentes valores w1, w2, w3, w4 de velocidad de rotor mencionados y los diferentes valores a1, a2, a3 y a4 de aceleración de rotor pueden ser diferentes dependiendo de la construcción, la dimensión y el material del rotor o las palas de rotor u otros componentes de la turbina eólica.

Según una realización de la presente invención, la curva de limitación se define además por una primera línea que tiene valores de velocidad de rotor iguales al primer valor de velocidad de rotor y que tiene valores de aceleración de rotor iguales o mayores que el primer valor de aceleración de rotor, en la que la curva de limitación se define además por una quinta línea que tiene valores de velocidad de rotor iguales o mayores que el cuarto valor de velocidad de rotor y que tiene valores de aceleración de rotor iguales al cuarto valor de aceleración de rotor.

En particular, a un valor de velocidad de rotor relativamente bajo, tal como w1 (que es el primer valor de velocidad de rotor), entonces incluso para aceleraciones relativamente altas, puede existir solamente una probabilidad muy baja de que la velocidad de rotor se aproximará de manera rápida a un límite de velocidad de rotor crítico. Además, cuando el valor de velocidad de rotor es un valor relativamente alto tal como el cuarto valor w4 de velocidad de rotor, entonces cualquier valor de aceleración de rotor que se encuentre por encima de 0 puede originar un riesgo de aproximación o incluso exceder un valor de velocidad de rotor crítico. Por tanto, a valores de velocidad de rotor muy altos, que son iguales o mayores que el cuarto valor w4 de velocidad de rotor, el método puede garantizar que la aceleración de rotor se mantiene a o por debajo de 0. Tener una aceleración de rotor negativa significa que el rotor se decelera, es decir reduce su velocidad de rotor.

Según una realización de la presente invención, w3 corresponde a una velocidad de rotor crítica por encima de la que no se considera que el rotor pueda funcionar.

Según otras realizaciones, el tercer valor w3 de velocidad de rotor puede ser diferente de una velocidad de rotor crítica. Según un método convencional, una velocidad de rotor puede controlarse solamente basándose en la velocidad de rotor crítica (independientemente de una aceleración de rotor real) y puede ajustar o cambiar la velocidad de rotor solamente si la velocidad de rotor se aproxima a o excede la velocidad de rotor crítica. Según realizaciones de la presente invención, sin embargo, incluso a velocidades de rotor por debajo de una velocidad de rotor crítica, el método puede, dependiendo de la aceleración de rotor actual, cambiar la velocidad de rotor, o al menos mantener la velocidad de rotor, con el fin de garantizar que las 2-tuplas que comprenden la velocidad de rotor y la aceleración de rotor se mantienen dentro de la región de funcionamiento aceptable, es decir el conjunto de 2-tuplas.

Según una realización de la presente invención, cuando el movimiento de rotor se aproxima a la curva de limitación, se hace funcionar un servosistema de cabeceo para realizar el cabeceo de las palas del rotor fuera de la posición de funcionamiento completo con el fin de reducir una fuerza de accionamiento de viento que impacta sobre las palas de rotor. En particular el servosistema de cabeceo puede hacerse funcionar para realizar el cabeceo de las palas del rotor a una posición de detención.

De este modo, la velocidad de rotación y/o aceleración de rotor pueden reducirse de manera eficaz, tal como para mantener el movimiento de rotor dentro de la región de funcionamiento deseada.

Según una realización de la presente invención, determinar un valor de aceleración de rotor actual comprende medir, en particular mediante un giroscopio y/o acelerómetro, el valor de aceleración de rotor actual.

El giroscopio y/o el acelerómetro pueden proporcionar una señal de medición en bruto o procesada a un controlador que realiza el método y el controlador puede usar la señal de medición en un algoritmo para controlar otros componentes de la turbina eólica, tal como un generador para el par, un ángulo de cabeceo de pala, o similares que a su vez pueden influir, cambiar o ajustar un movimiento de rotor. De este modo, el método puede simplificarse.

Debe entenderse que también pueden aplicarse, de manera individual o en cualquier combinación, características que se han dado a conocer, descrito, mencionado o proporcionado de manera individual o en cualquier combinación para un método de control de un movimiento de rotor de un rotor de la turbina eólica a una disposición para controlar un movimiento de rotor de un rotor de una turbina eólica y viceversa.

Según una realización se proporciona una disposición para controlar un movimiento de rotor de un rotor de una turbina eólica, comprendiendo la disposición una sección de determinación adaptada para determinar un valor de aceleración de rotor actual; una sección de control adaptada para controlar el movimiento de rotor basándose en el valor de aceleración de rotor medido.

La disposición puede estar comprendida en un controlador de turbina eólica y/o un controlador de parque eólico.

La disposición también puede comprender instrucciones legibles por ordenador que se almacenan en un medio de almacenamiento legible por ordenador y que, cuando se ejecutan por un sistema informático, se adaptan para llevar a cabo un método para controlar un movimiento de rotor tal como se describió anteriormente en una de las realizaciones.

Debe observarse que se han descrito realizaciones de la invención con referencia a diferentes contenidos. En particular, algunas realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de método mientras que otras realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de aparato. Sin embargo, un experto en la técnica recopilará a partir de lo anterior y la siguiente descripción que, a menos que se notifique de otro modo, además de cualquier combinación de características que pertenecen a un tipo de contenido también cualquier combinación entre características que se refieren a diferentes contenidos, en particular entre características de las reivindicaciones de tipo de método y las características de las reivindicaciones de tipo de aparato, se considera que se han dado a conocer con este documento.

Los aspectos definidos anteriormente y aspectos adicionales de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos de realización que van a describirse a continuación en el presente documento y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá en más detalle a continuación en el presente documento con referencia a ejemplos de la realización pero a los que no se limita la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una gráfica que representa una velocidad de rotor según un método de control convencional;

la figura 2 ilustra una gráfica que representa una aceleración de rotor según un método de control convencional;

la figura 3 ilustra una gráfica y una región de funcionamiento prevista en un sistema de coordenadas de velocidad de rotor/aceleración de rotor según una realización de la presente invención; y

la figura 4 ilustra esquemáticamente una turbina eólica que comprende una disposición para controlar un movimiento de rotor según una realización de la presente invención que se adapta para llevar a cabo un método para controlar un movimiento de rotor según una realización de la presente invención.

Descripción detallada

La ilustración en los dibujos está en forma esquemática.

La figura 1 ilustra una gráfica, en la que una abscisa 101 indica el tiempo en segundos y una ordenada 103 indica la velocidad de rotor en RPM de una turbina eólica. La curva 105 ilustra el curso de la velocidad de rotor de la turbina eólica en una situación de falla con un fallo de controlador de turbina de manera que la velocidad de rotor aumenta de una velocidad 107 de rotor nominal a una velocidad 109 de rotor crítica. En el límite 109 de velocidad de rotor crítico, los componentes de turbina eólica experimentarían cargas pesadas y se verían dañados si se hicieran funcionar durante más tiempo a esta velocidad 109 de rotor límite. Por tanto, según un método convencional, el servosistema de cabeceo realiza el cabeceo afinado de todas las palas de la turbina eólica cuando se detecta una situación en la que la velocidad de rotor alcanza la velocidad 109 de rotor límite. La detección de la velocidad 109 de rotor límite se realiza en el punto 111 de tiempo y después del punto 111 de tiempo, las palas de rotor se afinan, lo que da como resultado una disminución de la velocidad 105 de rotor de una velocidad 109 de rotor límite esencialmente a 0 en un punto 113 de tiempo. El método convencional no tiene en consideración una aceleración de rotor.

La figura 2 ilustra una gráfica, en la que una abscisa 201 indica el tiempo en segundos y una ordenada 203 indica la aceleración de rotor en grad/s^2. Por tanto, la aceleración de rotor representa un tiempo derivado de la velocidad de rotor tal como se indica en la figura 1.

La curva 205 indica la aceleración medida de manera instantánea, mientras que la curva 207 indica la aceleración promedio durante dos segundos. Tal como puede observarse, la aceleración 205 instantánea exhibe varios picos alrededor de la aceleración 207 promedio. El método de control convencional da como resultado una carga extrema dada designada.

Con el fin de mejorar el método de control de movimiento de rotor, según una realización de la presente invención, se tienen en consideración aceleraciones medidas de la velocidad de rotor. Tal como se ilustra en la figura 3, en la que una abscisa 301 indica la velocidad de rotor en RPM y una ordenada 303 indica la aceleración de rotor en grad/s^2, se define una curva 305 de limitación por una primera línea 11, una segunda línea 12, una tercera línea 13, una cuarta línea 14 y una quinta línea 15. De este modo, un conjunto de 2-tuplas por debajo de y a la izquierda de la curva 305 de limitación definida por las líneas 11, 12, 13, 14, 15 representa una región 307 de funcionamiento prevista para hacer funcionar el rotor de la turbina eólica. Un método de control para controlar el movimiento de rotor según una realización de la presente invención logra, para mantener el movimiento de rotor en el conjunto 307 de 2-tuplas y prohíbe que el movimiento de rotor se encuentre dentro de un complemento 309 del conjunto 307 de 2-tuplas.

De este modo, los cuatro puntos (w1, a1), (w2, a2), (w3, a3), (w4, a4) definen la curva 305 de limitación y en particular definen las líneas 11, 12, 13, 14 y 15 rectas. El primer punto (w1, a1) se conecta al segundo punto (w2, a2) para formar la segunda línea 12. La primera línea 11 discurre en una dirección vertical (que tiene una velocidad de rotor constante) y pasa por el primer punto (w1, a1). La tercera línea 13 conecta el segundo punto (w2, a2) al tercer punto (w3, a3). La cuarta línea 14 conecta el tercer punto (w3, a3) con el cuarto punto (w4, a4). La quinta línea 15 discurre en una dirección horizontal (que tiene una aceleración constante que es 0 en el ejemplo representado) y pasa por el cuarto punto (w4, a4). El valor a1 de aceleración de rotor también puede considerarse como un límite de aceleración por debajo del que se mantiene el movimiento de rotor mediante el método de control según una realización de la presente invención. Además, el tercer valor w3 de velocidad de rotor puede considerarse como un límite de velocidad de rotor crítico que no debe superarse cuando se hace funcionar el rotor, con el fin de evitar

daños del rotor u otros componentes de la turbina eólica, tales como las palas de rotor.

El método convencional (tal como se ilustra en las figuras 1 y 2) puede tener en consideración solamente el límite w3 de velocidad de rotor sin tener en consideración la aceleración de rotor, en particular no teniendo en consideración la aceleración de rotor a velocidades de rotor por debajo del límite w3 de velocidad de rotor. Por el contrario, el método de control según una realización de la presente invención tiene en consideración el valor de aceleración de rotor incluso cuando la velocidad de rotor está por debajo del límite w3 de velocidad de rotor. Por ejemplo, si el valor de velocidad de rotor asciende a un primer valor w1 de velocidad de rotor y la aceleración de rotor asciende a un primer valor a1 de aceleración de rotor, puede existir el riesgo (aunque el valor de velocidad de rotor esté muy por debajo del límite w3 de velocidad de rotor crítico) de que la velocidad de rotor real se aproxime a o incluso aumente de manera rápida por encima del límite w3 de velocidad de rotor crítico. Por tanto, incluso a este valor w1 de velocidad de rotor relativamente bajo, la presente realización de la invención mantiene o hace que el movimiento de rotor se encuentre dentro del conjunto 307 de 2-valores, para que por tanto no se encuentre por encima del primer punto (w1, a1) y en particular para que no se encuentre por encima y a la derecha del primer punto (w1, a1). De este modo, el método de control según una realización de la presente invención puede ajustar, de manera más fiable y de manera más rápida, el movimiento de rotor con el fin de garantizar que el movimiento de rotor se encuentre dentro del conjunto 307 de 2-tuplas que representa una región de funcionamiento prevista.

Tal como puede observarse en particular a partir de la figura 3, los límites a1, a2, a3 de aceleración son en función de la velocidad w1, w2, w3 de rotor, respectivamente.

Como un procedimiento para mantener el movimiento de rotor dentro del conjunto 307 de 2-tuplas (es decir la región de funcionamiento aceptable prevista) pueden tomarse varias medidas. Por ejemplo, un ángulo de cabeceo de pala de rotor puede controlarse, cambiarse, ajustarse o mantenerse, con el fin de lograr que el movimiento de rotor se mantenga dentro del conjunto 307 de 2-tuplas. Alternativa o adicionalmente, puede ajustarse un par de generador y/o puede ajustarse un ángulo de guiñada de la turbina eólica.

En otras realizaciones, la línea 305 de limitación puede definirse en otro sistema de coordenadas o puede definirse sin ninguna referencia a cualquier sistema de coordenadas, tal como almacenando varios puntos en la curva de limitación por ejemplo en un almacenamiento electrónico. Las curvas entre varios puntos tales como los cuatro puntos (w1, a1), ..., (w4, a4) pueden ser (al menos parcialmente) rectas o/y pueden comprender secciones curvas.

Según realizaciones alternativas, la curva de limitación puede definirse mediante una fórmula matemática. La curva 305 puede representarse de cualquier forma adecuada, tal como de forma analítica o en una forma que comprende un conjunto de valores continuo o discreto, tal como 2-tuplas.

La figura 4 ilustra esquemáticamente una turbina eólica que comprende una disposición 421 para controlar un movimiento de rotor de un rotor de la turbina eólica según una realización de la presente invención. El sistema 400 ilustrado en la figura 4 comprende una torre 401 de turbina eólica, una góndola no ilustrada en la que un árbol 403 de rotor se soporta de manera rotatoria, en el que en el árbol 403 de rotor se conectan varias palas 405 de rotor. El árbol 403 de rotor acciona, tras la rotación, un generador 407 que proporciona una corriente 409 de energía de CA de frecuencia variable a un conversor 411 que convierte la corriente de energía en una corriente 413 de energía de frecuencia fija que se transforma mediante un transformador 415 de turbina eólica en una tensión mayor y entonces se suministra a un punto de acoplamiento 417 común al que se conectan varias otras no turbinas 402 eólicas y que proporciona la energía eléctrica generada acumulada a una red 419 de distribución.

La turbina 402 eólica también comprende una disposición 421 para controlar un movimiento de rotor del rotor 403 de la turbina 402 eólica. De este modo, la disposición 421 se adapta para determinar, en particular basándose en una señal 423 de medición, un valor de aceleración de rotor actual que representa el valor actual de la aceleración de rotor del rotor 403 de la turbina 402 eólica. Además, la disposición 421 se adapta para controlar, mediante una señal 425 de control el movimiento de rotor del rotor 403 basándose en el valor de aceleración de rotor medido. En particular, el valor 425 de control puede suministrarse a un servosistema de cabeceo de pala que puede adaptar el ángulo de cabeceo de pala de las palas 405 de rotor, de manera que el movimiento de rotor se encuentra dentro de una región de funcionamiento prevista, tal como el conjunto 307 de 2-tuplas tal como se ilustra en la figura 3.

En particular, la disposición 421 puede adaptarse para llevar a cabo un método para controlar un movimiento de rotor según una realización de la presente invención.

Debe observarse que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y “un” o “una” no excluyen una pluralidad. Asimismo, pueden combinarse elementos descritos relacionados con diferentes realizaciones. También debe observarse que no debe considerarse que los signos de referencia en las reivindicaciones limitan el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar un movimiento de rotor de un rotor (403) de una turbina (402) eólica, comprendiendo el método:

determinar un valor (207) de aceleración de rotor actual;

controlar el movimiento de rotor basándose en el valor (207) de aceleración de rotor medido,

en el que controlar el movimiento de rotor se realiza de manera que el valor (301) de velocidad de rotor y el valor (303) de aceleración de rotor se encuentran dentro de un conjunto (307) de 2-tuplas pero no fuera (309) del conjunto de 2-tuplas,

en el que el conjunto (307) de 2-tuplas se define como una región continua en un sistema (301,303) de coordenadas de velocidad de rotor/aceleración de rotor,

en el que controlar el movimiento de rotor se basa adicionalmente en un valor (301) de velocidad de rotor actual, en el que límites (a1, a2, a3, a4) de aceleración se definen en función de velocidad (w1, w2, w3, w4) de rotor, caracterizado porque a una velocidad de rotor relativamente baja, se tolera un valor de aceleración de rotor que es relativamente alto, mientras que para una velocidad de rotor relativamente alta, se tolera un valor de aceleración de rotor relativamente más bajo.

2. Método según la reivindicación 1, en el que controlar el movimiento de rotor comprende controlar una velocidad (301) de rotor y la aceleración (303) de rotor.

3. Método según la reivindicación 2, en el que controlar velocidad de rotor incluye reducir la velocidad de rotor.

4. Método según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el conjunto (307) de 2-tuplas está limitado por una curva (305) de limitación que se obtiene parcialmente conectando de manera sucesiva, en particular de manera recta usando líneas segunda (12), tercera (13) y cuarta (14), cuatro puntos uno con respecto a otro, definiendo cada punto una 2-tupla que comprende un valor (w1, w2, w3, w4) de velocidad de rotor y valor (a1, a2, a3, a4) de aceleración de rotor respectivos.

5. Método según la reivindicación 4, en el que los cuatro puntos comprenden

un primer punto (w1, a1) que tiene un primer valor w1 de velocidad de rotor y un primer valor a1 de aceleración de rotor,

un segundo punto (w2,a2) que tiene un segundo valor w2 de velocidad de rotor y un segundo valor a2 de aceleración de rotor,

un tercer punto (w3,a3) que tiene un tercer valor w3 de velocidad de rotor y un tercer valor a3 de aceleración de rotor, y

un cuarto punto (w4,a4) que tiene un cuarto valor w4 de velocidad de rotor y un cuarto valor a4 de aceleración de rotor,

en el que mantiene al menos uno de los siguientes:

$$w1 < w2,$$

$$a1 = a2,$$

$$w2 < w3,$$

$$a2 > a3,$$

$$w3 = w4,$$

$$a3 > a4,$$

$$a4 = 0.$$

6. Método según la reivindicación 4 ó 5, en el que mantiene al menos uno de los siguientes:

$$2 \text{ grad/s}^2 < a1 < 4 \text{ grad/s}^2$$

$$0 \text{ grad/s}^2 < a3 < 3 \text{ grad/s}^2,$$

$$8 \text{ rpm} < w1 < 12 \text{ rpm},$$

$$10 \text{ rpm} < w3 < 13 \text{ rpm}.$$

7. Método según una de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la curva de limitación está definida además por una primera línea (11) que tiene valores de velocidad de rotor iguales al primer valor de velocidad de rotor y que tiene valores de aceleración de rotor iguales o mayores que el primer valor de aceleración de rotor,

en el que la curva de limitación está definida además por una quinta línea (15) que tiene valores de velocidad de rotor iguales o mayores que el cuarto valor de velocidad de rotor y que tiene valores de aceleración de rotor iguales al cuarto valor de aceleración de rotor.

8. Método según una de las reivindicaciones 5 a 7, en el que w3 corresponde a una velocidad de rotor crítica por encima de cual el rotor (403) no está construido para funcionar.

9. Método según una de las reivindicaciones 4 a 8, en el que, cuando el movimiento de rotor se aproxima a la curva (305) de limitación, un servosistema de cabeceo se hace funcionar para realizar el cabeceo de palas del rotor a una posición de detención.

10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que determinar un valor de aceleración de rotor actual comprende medir, en particular mediante un giroscopio y/o acelerómetro, el valor de aceleración de rotor actual.

11. Disposición (421) para controlar un movimiento de rotor de un rotor (403) de una turbina (402) eólica, comprendiendo la disposición:

una sección de determinación adaptada para determinar un valor de aceleración de rotor actual;

una sección de control adaptada para controlar el movimiento de rotor basándose en el valor de aceleración de rotor medido,

en el que controlar el movimiento de rotor se realiza de manera que el valor (301) de velocidad de rotor y el valor (303) de aceleración de rotor se encuentran dentro de un conjunto (307) de 2-tuplas pero no fuera (309) del conjunto de 2-tuplas,

en el que el conjunto (307) de 2-tuplas se define como una región continua en un sistema (301,303) de coordenadas de velocidad de rotor/aceleración de rotor,

en el que controlar el movimiento de rotor se basa adicionalmente en un valor (301) de velocidad de rotor actual, en el que se definen límites (a1, a2, a3, a4) de aceleración en función de la velocidad (w1, w2, w3, w4) de rotor, caracterizado porque a una velocidad de rotor relativamente baja, se tolera un valor de aceleración de rotor que es relativamente alto, mientras que para una velocidad de rotor relativamente alta, se tolera un valor de aceleración de rotor relativamente más bajo.

12. Turbina (402) eólica, que comprende:

un rotor (403);

una disposición (421) según la reivindicación 11; y

un sistema de control de cabeceo de pala conectado a la sección de control para ajustar un ángulo de cabeceo de pala de una pala (405) para controlar el movimiento de rotor del rotor (403).

FIG 1

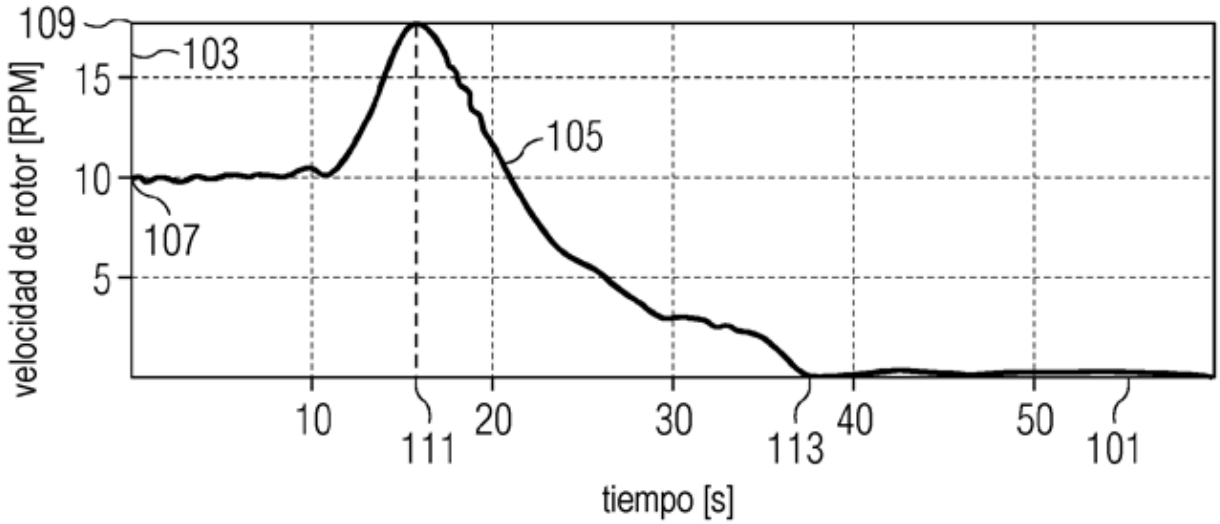

109
103
15
105
10
107
5
velocidad de rotor [RPM]
10
111
20
30
113
40
50
101
tiempo [s]

FIG 2

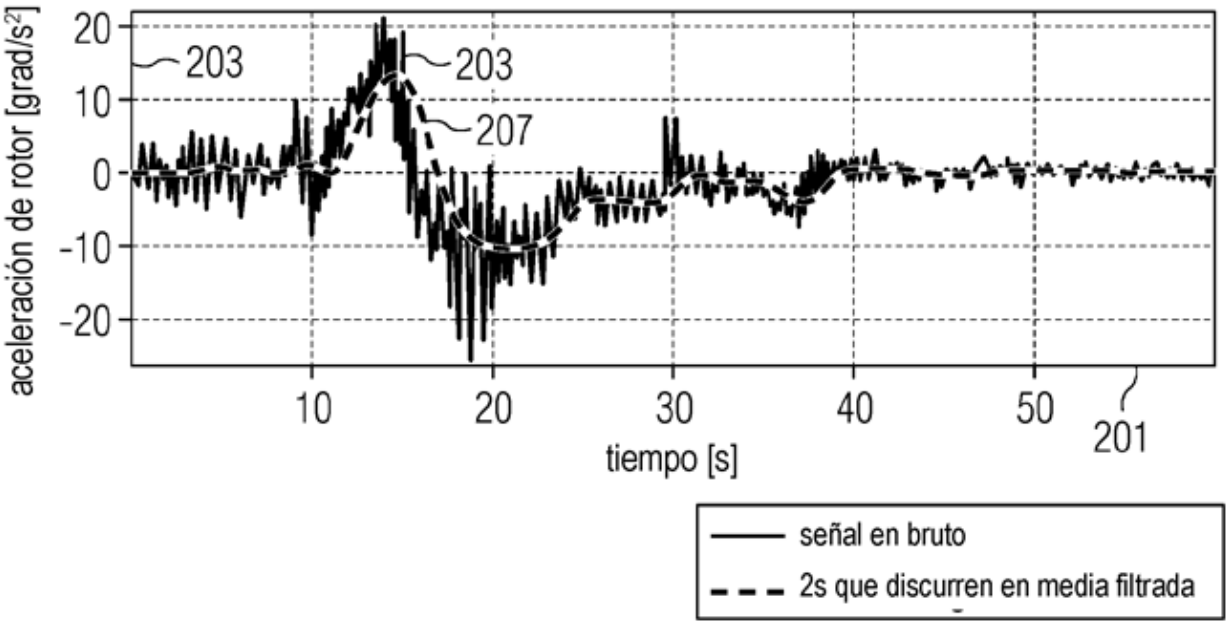

20
203
203
10
207
0
-10
-20
aceleración de rotor [grad/s²]
10
20
30
40
50
201
tiempo [s]
señal en bruto
2s que discurren en media filtrada

FIG 3

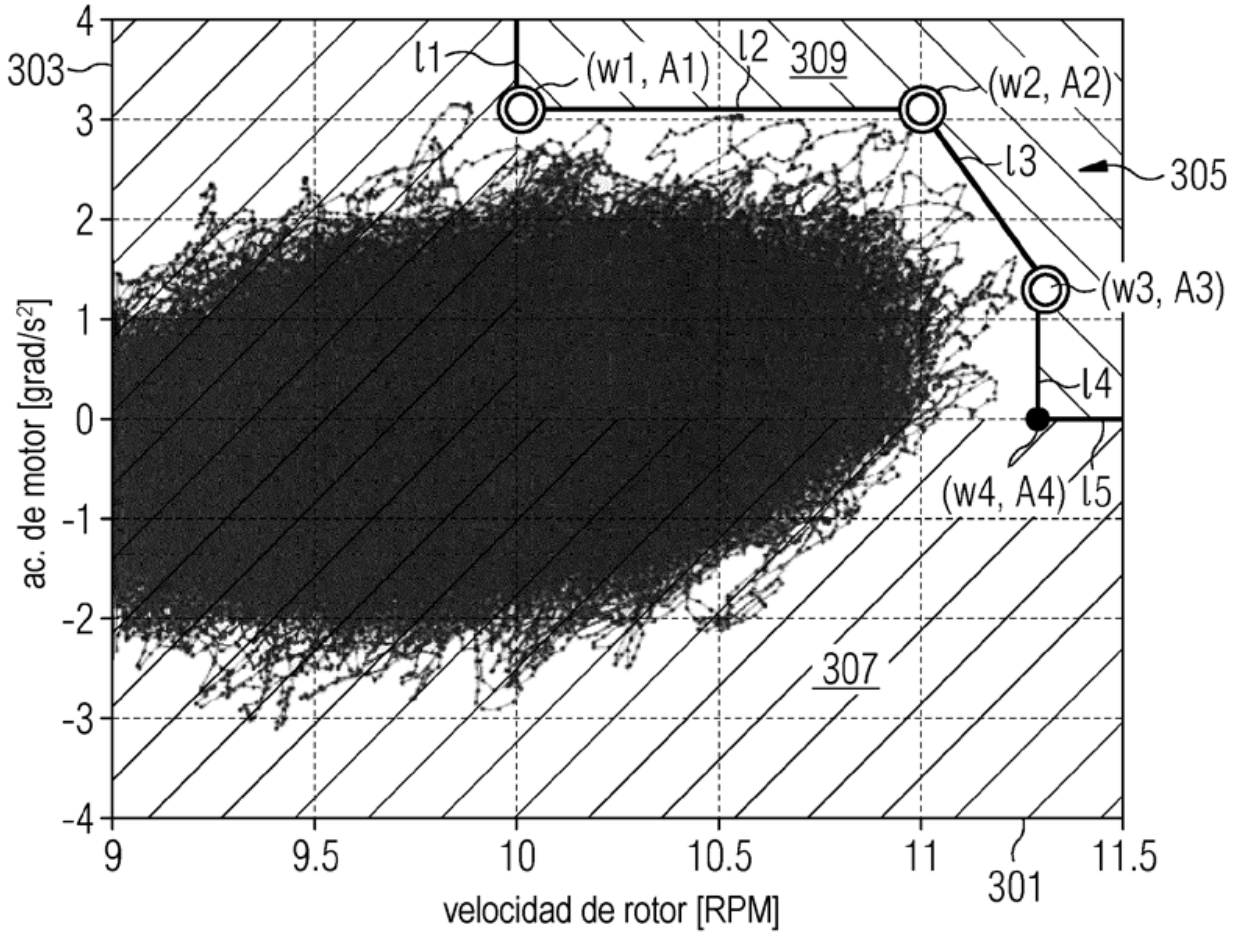
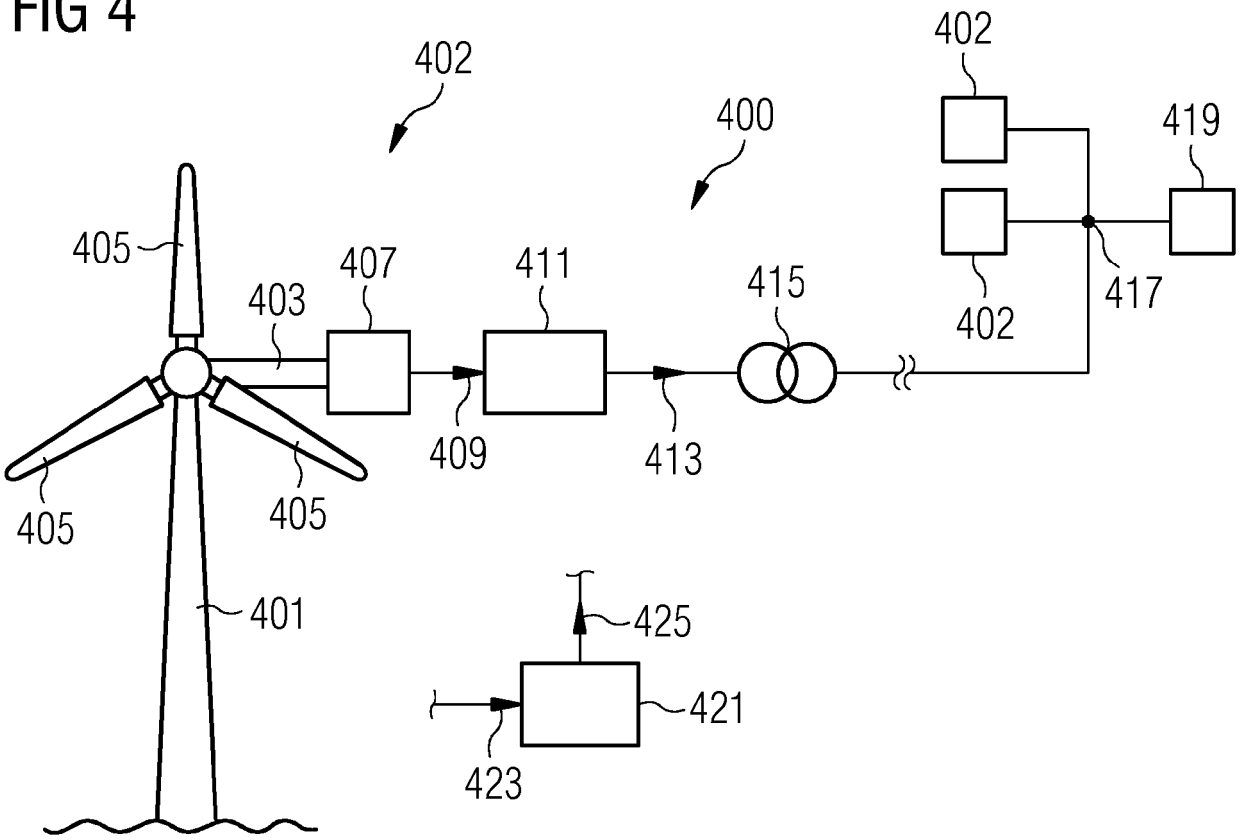

303
l1
(w1, A1)
l2
309
(w2, A2)
l3
305
(w3, A3)
l4
(w4, A4)
l5
307
301
ac. de motor [grad/s²]
velocidad de rotor [RPM]
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
9
9.5
10
10.5
11
11.5

FIG 4


402
400
402
419
405
407
411
415
403
402
417
409
413
405
405
401
425
421
423