

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 506**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 80/55 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2013** **E 13186933 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018** **EP 2857677**

54 Título: **Ajuste de un ángulo de paso de pala de rotor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.05.2018

73 Titular/es:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE

72 Inventor/es:
ENEVOLDSEN, PEDER BAY

74 Agente/Representante:
LOZANO GANDIA, José

ES 2 668 506 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).

AJUSTE DE UN ÁNGULO DE PASO DE PALA DE ROTOR**DESCRIPCIÓN**

5 La presente invención se refiere a un método de ajuste de un ángulo de paso de una pala de rotor de un rotor de una turbina eólica. También se refiere a un sistema de ajuste de ángulo de paso con ese propósito.

10 Las turbinas eólicas extraen energía del viento con sus palas de rotor. Mientras un flujo de aire, es decir, el viento, pasa por una pala de rotor, se crea una fuerza de elevación, fuerza de elevación que es resultado de una diferencia de presión entre un lado de succión y un lado de presión. A partir de estas fuerzas de elevación resulta un movimiento de rotación del rotor que comprende esas palas de rotor, movimiento de rotación que se usa entonces para generar potencia. Esa salida de potencia se alimenta entonces por ejemplo a una red de distribución eléctrica. Dependiendo de la velocidad de viento, cambia la energía extraíble. Las turbinas eólicas modernas actuales funcionan relativamente cerca del límite de Betz (es decir, la parte máxima teórica de energía de rotación que puede 15 extraerse de un viento dado a una velocidad dada) en condiciones de funcionamiento normales. Generalmente, el objetivo es optimizar el funcionamiento de la turbina eólica de manera que pueda suministrarse la mayor parte de la energía extraíble en condiciones límite dadas (tal como velocidad de viento, carga, vida útil de la turbina eólica y/o de partes de la misma, ruido, desgaste, etc.).

20 Las turbinas eólicas del estado de la técnica se caracterizan por un sistema de regulación de paso con el que cada pala de rotor puede hacerse rotar alrededor de su eje longitudinal. Al regular la pala su ángulo de paso y como consecuencia puede cambiarse su denominado ángulo de ataque y ajustarse para conseguir el funcionamiento óptimo para condiciones dadas, por ejemplo, la velocidad de rotación del rotor, la velocidad de punta de la palas de rotor y la velocidad del viento.

25 La fuerza de elevación y la energía extraída del viento aumentan con un aumento del ángulo de ataque hasta que se alcanza un ángulo de ataque crítico. De ese modo, el ángulo de ataque es el ángulo entre la cuerda de referencia de la pala de rotor y la dirección del aire que fluye hacia dentro que llega a la pala de rotor.

30 Se producirá una entrada en pérdida si el ángulo de ataque se aumenta adicionalmente más allá del ángulo de ataque crítico, que se denomina el "ángulo de pérdida" a lo largo de esta descripción.

35 Cuando la pala de rotor entra en pérdida, el flujo de aire sobre la pala de rotor se separa de la pala de rotor y un flujo de aire turbulento domina en el lado de succión de la pala de rotor. La entrada en pérdida puede provocar una pérdida abrupta de elevación en la pala de rotor y por tanto una pérdida abrupta de energía extraída del viento. Además, se ejercen cargas no deseadas sobre la turbina eólica y a menudo se generan sonidos considerablemente altos no deseados.

40 La aparición de tal entrada en pérdida (es decir, el ángulo de pérdida) también es dependiente de la condición de la pala, concretamente de su condición de desgaste y su condición de suciedad. Para un perfil de turbina eólica típico, la condición de superficie puede estar influida por abolladuras, grietas y agujeros (todos provocados por la antigüedad y por tanto por el desgaste) y por la acumulación de hielo (formación de hielo) y/o de polvo y tierra (es decir, por la suciedad).

45 La suciedad y/o la acumulación de hielo en una pala de rotor pueden hacer que se produzca más probablemente una entrada en pérdida de la pala de rotor. Eso significa que una entrada en pérdida en una pala de rotor sucia y/o con hielo puede producirse a un ángulo de ataque en el que una pala de rotor limpia todavía funcionará sin problemas. En un enfoque a este problema,

50 El documento EP 2 559 894 A1 describe un modo de reaccionar a la pérdida de potencia inesperada que surge cuando se acumula hielo en la pala del rotor. Un segundo enfoque se propone en el documento EP 2 075 462 A2 en el que el ángulo de paso se controla según las condiciones de entrada en pérdida detectadas. Las palas de rotor desgastadas también pueden ser un problema. En condiciones fijas, por tanto, una pala de rotor desgastada, con hielo o sucia entra en pérdida a un ángulo de ataque más bajo que una pala de rotor apropiada, es decir, no desgastada, sin hielo y limpia. El problema con esto es que las condiciones de desgaste, de formación de hielo y de suciedad de una pala de rotor no son completamente predecibles o determinables y pueden variar. Por ejemplo, después de un chubasco, la suciedad puede haberse lavado de la pala de rotor y una entrada en pérdida se produciría a un ángulo de ataque relativamente alto. Sin embargo, la determinación de acumulación de suciedad en la pala con sensores es compleja, cara y no es una tecnología suficientemente madura. En consecuencia, las 60 turbinas eólicas no pueden hacerse funcionar a su rendimiento más óptimo:

65 Para evitar una entrada en pérdida no deseada, la turbina eólica normalmente se hace funcionar de manera conservadora dentro de un alto margen de seguridad de aproximadamente 1° a 2° del ángulo de ataque para compensar siempre una pala posiblemente sucia, con hielo o desgastada y las condiciones de entrada en pérdida debido a esos factores. Esto implica una pérdida de potencia de aproximadamente el 1% al 2% debido al margen de seguridad. El funcionamiento de la turbina eólica con una estrategia de regulación de paso de este tipo normalmente

evita entradas en pérdida y sus efectos no deseados. Sin embargo, esta estrategia de regulación de paso también deja potencial para extracción de energía mejorada mientras la turbina eólica no se hace funcionar a su potencial completo, es decir, a su ángulo de ataque óptimo dadas las circunstancias disponibles para cada pala de rotor.

5 La figura 1 muestra una turbina 1 eólica según el estado de la técnica: Comprende varias palas 3 de rotor de un rotor 9, rotor 9 que está conectado a una góndola 7. La góndola 7 está situada en la parte superior de una torre 5, torre 5 que está firmemente conectada al suelo 11. El suelo 11 puede ser un monopilote 11 instalado en alta mar pero también en un suelo 11 en tierra.

10 Cuando el rotor 9 se hace rotar debido al viento que llega, su movimiento de rotación se transfiere a la góndola 7 por medio de un tren de accionamiento (no mostrado). En la góndola 7, está situada una caja de transmisión y un generador (no mostrados), generando este último energía eléctrica a partir del movimiento de rotación. Alternativamente, un generador también puede estar situado en una zona de transición de la turbina eólica entre el rotor y la góndola; realizándose entonces el generador como generador de accionamiento directo, lo que implica que
15 no se necesita caja de transmisión.

La figura 2 muestra una pala 3 de rotor de la turbina 1 eólica. Se extiende desde una raíz 15 de pala hasta una punta 13 de pala y tiene un borde 17 de ataque y un borde 19 de salida. El viento durante el funcionamiento de la turbina eólica golpea la pala 3 de rotor en el borde 17 de ataque y fluye a lo largo del perfil de la pala de rotor en la dirección
20 del borde 19 de salida.

La figura 3 muestra un perfil de ala de la pala 3 de rotor en la sección transversal de la figura 2 a lo largo de una línea de sección III - III. La línea 21 que pasa tanto a través del borde 17 de ataque como del borde 19 de salida es la denominada cuerda 21 de referencia, que representa la principal (es decir, máxima) extensión en sección
25 transversal de la pala 3 de rotor. El viento golpea la pala 3 de rotor en un determinado sentido WD a un ángulo α con respecto a la cuerda 21 de referencia. Este ángulo α se denomina generalmente el ángulo de ataque α . El ángulo de ataque α puede variarse indirectamente variando el ángulo de paso de la pala 3 de rotor, es decir, regulando el paso de la pala 3 de rotor alrededor de su eje longitudinal, es decir, el eje que discurre desde la raíz 15 de pala hasta la punta 13 de pala. Por tanto, el ángulo de ataque α depende (entre otros factores, tales como la velocidad del viento y la velocidad de rotación del rotor) del ángulo de paso: haciendo rotar la pala 3 de rotor en el sentido antihorario en la figura 3, se reduce el valor del ángulo de ataque α , mientras que regulando el paso de la pala 3 de rotor en el sentido horario en la figura 3, se aumenta el valor del ángulo de ataque α .

La pala 3 de rotor puede dividirse en un lado Su de succión y en un lado Pr de presión, estando el lado Su de succión en un lado de la cuerda 21 de referencia y estando el lado Pr de presión en el otro lado de la cuerda 21 de referencia. Qué lado de la cuerda 21 de referencia es el lado Su de succión y qué lado es el lado Pr de presión depende del ángulo de ataque α . El lado de la pala 3 de rotor al que se dirige el ángulo de ataque α puede considerarse el lado Pr de presión, mientras que el lado de la pala 3 de rotor desde el que el ángulo de ataque α está orientado hacia el sentido opuesto puede considerarse el lado Su de succión. Se genera una fuerza de elevación F debido a la influencia del viento, es decir, debido a fuerzas de succión en el lado Su de succión y a fuerzas de presión en el lado Pr de presión. De ese modo, la fuerza de elevación F surge de un gradiente de presión (o diferencia de presión entre el lado Su de succión y el lado Pr de presión según el principio de Bernoulli. La fuerza de elevación F fuerza a la pala 3 de rotor a forzar al rotor 9 a rotar alrededor de su eje de rotación.

45 Sin embargo, hay un límite para este sistema, concretamente un ángulo de ataque crítico. Esto puede observarse en la figura 4: En el ángulo de ataque α , el coeficiente de elevación Cl se representa en el diagrama. Dos líneas L₁, L₂ se refieren a un comportamiento de una pala (L₁) de rotor sucia y a una pala (L₂) de rotor limpia siendo ambas palas de rotor de la misma antigüedad y por tanto con las mismas condiciones desgaste y no estando ninguna cubierta de hielo. Por tanto, las dos palas de rotor sólo difieren esencialmente con respecto a sus condiciones de suciedad. Puede observarse que la curva L₁ inferior de la pala de rotor sucia alcanza su valor máximo de coeficiente de elevación Cl₁ a un ángulo de ataque α_{Max1} más bajo que la curva de elevación L₂ superior de la pala de rotor limpia. Más bien, valor máximo de coeficiente de elevación Cl₂ de la pala de rotor limpia es más alto que Cl₁ y se alcanza a un ángulo de ataque α_{Max2} más alto. En ambas curvas L₁, L₂, puede observarse que poco después de haber alcanzado los ángulos de ataque α_{Max1} / α_{Max2} , el coeficiente de elevación Cl desciende muy rápidamente. Eso significa que el ángulo de pérdida se alcanza muy pronto después de los ángulos de ataque α_{Max1} / α_{Max2} en los que puede medirse el coeficiente de elevación Cl₁, Cl₂ máximo. En otras palabras, la pala de rotor sucia entra en pérdida a un ángulo de ataque más bajo que la limpia.

Ciertamente, una pala de rotor muy sucia, una pala de rotor muy desgastada o una pala de rotor con mucho hielo o de hecho una combinación de una pala de rotor sucia y con hielo, sucia y desgastada y/o con hielo y desgastada puede conducir incluso a una situación en la que la distancia de seguridad indicada anteriormente puede no ser suficiente. Por tanto, es altamente deseable tener la posibilidad de averiguar con más precisión el estado de una pala de rotor de una turbina eólica con respecto a los tres factores mencionados, es decir, suciedad, formación de hielo y desgaste.

Entonces, un objeto de la presente invención es proporcionar la posibilidad de ajuste del ángulo de paso de una pala de rotor de manera perfeccionada. En particular, este ajuste es preferiblemente más fiable con respecto a un peligro o un riesgo de cuando se alcance un ángulo de pérdida.

- 5 Este objeto se consigue mediante el método según la reivindicación 1 y mediante el sistema de ajuste de ángulo de paso según la reivindicación 13.

Según la invención, el método mencionado anteriormente comprende las siguientes etapas:

- 10 a0) reducir la velocidad de rotación del rotor por debajo de un límite de velocidad;
- a) variar el ángulo de paso de la pala de rotor durante el funcionamiento con el viento de la turbina eólica desde un ángulo inicial hasta alcanzar un ángulo límite en el que la pala de rotor comienza a entrar en pérdida,
- 15 b) derivar un ángulo seguro dependiente del ángulo límite,
- c) hacer funcionar la pala de rotor en el ángulo seguro o un ángulo más bajo que el ángulo seguro.

20 El método por tanto hace uso de una determinación deliberada de un ángulo límite en un tiempo dado de medición, comprendiendo esta medición la etapa a). De ese modo, el "ángulo límite" es tal ángulo de paso (o ángulo que es dependiente del ángulo de paso) que representa un determinado límite umbral predefinido de la pala de rotor. A continuación se facilitarán ejemplos de ángulos límite posibles.

25 Por tanto, el método según la invención hace posible una medición muy exacta y actualizada de los límites del funcionamiento de la turbina eólica en general, en particular, de los límites de pérdida de la(s) pala(s) de rotor. Esa medición se toma durante el funcionamiento del rotor de la turbina eólica. Por tanto, tal valor de ángulo límite representa directa o indirectamente el estado de la(s) pala(s) de rotor en ese momento dado en el tiempo. Un ajuste más preciso del ángulo de paso, posiblemente con un margen de seguridad mucho más pequeño (mediante un ajuste más exacto del ángulo seguro), puede ser el resultado que conduce entonces (dada una pala relativamente

30 "normal") a un aumento de producción de potencia (de un estimado 0,4% a un 0,8%) y/o (dada una pala muy sucia/con mucho hielo/muy desgastada) a una reducción de ángulo de paso incluso mayor con propósitos de seguridad. Además, sabiendo que la turbina se hace funcionar con seguridad bajo pérdida, puede afectar al diseño óptimo de pala y de perfil dando eficiencia mejorada adicional de la turbina.

35 Por consiguiente y en analogía con el método según la invención, el sistema de ajuste de ángulo de paso del tipo mencionado anteriormente comprende según la invención:

- a) un variador de paso que en funcionamiento varía un ángulo de paso de la pala de rotor durante el funcionamiento con el viento de la turbina eólica desde un ángulo inicial hasta alcanzar un ángulo límite en el que la pala de rotor comienza a entrar en pérdida,
- 40 b) un sensor de medición realizado para adquirir una señal de medición límite cuando se ha alcanzado el ángulo límite,
- 45 c) una unidad de derivación y análisis realizada para derivar un ángulo seguro dependiente del ángulo límite.

Por tanto, el variador de paso lleva a cabo la etapa a) del método según la invención y después la etapa c) del mismo método. Durante la etapa a), el sensor de medición adquiere la señal de medición límite que representa el ángulo límite. La unidad de derivación y análisis lleva a cabo la etapa b) del método según la invención.

50 Cualquiera de los componentes del sistema de ajuste de ángulo de paso, en particular, el variador de paso, y la unidad de derivación y análisis, pueden realizarse cada uno y posiblemente todos como componentes de software en un procesador, pero también como componentes de hardware o como combinación de los mismos.

55 Por tanto, la invención también se refiere a un producto de programa informático directamente descargable en un procesador de un sistema programable de ajuste de ángulo de paso que comprende medios de código de programa para llevar a cabo todas las etapas del método según la invención cuando el producto de programa informático se ejecuta en el sistema de ajuste de ángulo de paso.

60 Además, la invención también se refiere a una turbina eólica con un rotor que comprende varias palas de rotor. Esta turbina eólica está equipada con un sistema de ajuste de ángulo de paso según la invención. De ese modo, la turbina eólica puede estar equipada con el sistema de ajuste de ángulo de paso desde el principio, es decir, cuando se monta, pero también puede volver a equiparse con el mismo incluso más tarde, es decir, después de un inicio anterior del funcionamiento.

65 Realizaciones y características particularmente ventajosas de la invención se facilitan mediante las reivindicaciones

dependientes, tal como se revela en la siguiente descripción. Pueden combinarse características de diferentes categorías de reivindicación según proceda para dar realizaciones adicionales no descritas en el presente documento.

Según una realización preferida de la invención, el valor de funcionamiento de la turbina eólica comprende una salida de potencia de la turbina eólica en una condición de funcionamiento predefinida de la turbina eólica. Un ángulo límite en ese caso puede ser aquel ángulo de paso en el que se ha alcanzado la salida de potencia más alta de la turbina eólica. Una vez que se produce, definitivamente no tiene sentido regular adicionalmente el paso de la pala de rotor. De este modo, puede garantizarse que los ángulos de paso de la(s) pala(s) de rotor están ajustados de manera óptima.

En cuanto a la condición de funcionamiento predefinida, puede incluir un número predefinido de parámetros de funcionamiento, tales como la velocidad de viento y/o la velocidad de rotación del rotor, de manera que se garantiza que la condición de funcionamiento es una condición para el funcionamiento de la turbina eólica que ofrece resultados de medición representativos y reproducibles.

Esta realización puede implicar que se deriva un valor (máximo) de funcionamiento global de la turbina eólica, lo que por tanto generaliza el comportamiento de todas las palas de rotor de la turbina eólica. Sin embargo, también puede realizarse de modo que se varía el ángulo de paso de sólo una pala de rotor cada vez, de manera que puede adquirirse un valor de funcionamiento muy exacto con respecto a esa misma pala de rotor. Una ventaja de esta realización se encuentra en el hecho de que la salida de potencia se mide de cualquier modo, de manera que no necesitan hacerse mediciones adicionales.

El "ángulo de pérdida" puede definirse como aquel ángulo de ataque crítico en el que puede observarse, es decir, medirse, una primera indicación de una entrada en pérdida. Tal indicación puede considerarse, por ejemplo, si la fuerza de elevación disminuye sólo ligeramente y no abruptamente (tal como sería el caso durante una entrada en pérdida) o si la entrada en pérdida sólo se indica por sí misma en vez de producirse. En general, cualquier disminución de elevación después de alcanzar un nivel de elevación máximo puede ser indicativa de una entrada en pérdida y el ángulo de ataque en el que esa disminución de elevación se mide puede definirse como el ángulo de pérdida.

Con esta realización, el comportamiento de la pala de rotor (individualmente o en conjunto con otras palas de rotor del rotor) en el viento con respecto a pérdidas se mide directamente y por tanto con mucha exactitud. Por tanto, tal valor de ángulo de pérdida representa el estado de la pala de rotor en ese momento dado en el tiempo. Un ajuste más preciso del ángulo, posiblemente con un margen de seguridad mucho más pequeño (mediante un ajuste más exacto del ángulo seguro), puede ser el resultado que conduce entonces (dada una pala relativamente "normal") a un aumento de producción de potencia (de un estimado 0,4% a un 0,8%) y/o (dada una pala muy sucia/con mucho hielo/muy desgastada) a una reducción de ángulo de paso incluso mayor con propósitos de seguridad.

Cuando se comparan las dos realizaciones mencionadas anteriormente, resulta claro que la que implica el ángulo de pérdida como ángulo límite está predominantemente orientada a la seguridad (es decir, tiene el objetivo de evitar una entrada en pérdida estableciendo el ángulo seguro más bajo que el ángulo de pérdida determinado) mientras que la segunda realización está principalmente orientada a la salida. Estas dos realizaciones también pueden combinarse, por lo que es altamente preferible en tal caso que se considere que el ángulo de pérdida es el ángulo límite si el ángulo con la salida de potencia más alta está por encima del ángulo de pérdida. Esto también se aplica a otros ángulos límite más que a un ángulo límite dependiente de la salida de potencia. Con el fin de dar prioridad a la seguridad, si se conoce el ángulo de pérdida, este ángulo de pérdida se usa preferiblemente para determinar el ángulo límite máximo posible en el contexto del método según la invención. Esta medida sigue principios de seguridad y también el principio para evitar cualquier alteración innecesaria al entorno de la turbina eólica.

La etapa a0) se realiza con un límite de velocidad máximo predefinido de una velocidad de rotación del rotor (tal límite de velocidad puede definir por ejemplo la condición de funcionamiento predefinida mencionada anteriormente). Esto significa que, por ejemplo, la etapa a) del método puede tener lugar sólo cuando la turbina eólica funciona en condiciones de viento relativamente suave en las que el rotor no alcanza su velocidad pico, sino una velocidad más baja por debajo de un valor de velocidad de rotación umbral, valor de velocidad que se define como (el límite de) la velocidad máxima predefinida. Alternativa o adicionalmente, la velocidad de rotación puede reducirse intencionadamente por medio de un mecanismo de frenado adecuado. Esta medida ayuda a mantener el ruido generado por una entrada en pérdida en el ángulo de pérdida en un mínimo deseable y/o ayuda a mantener las cargas sobre la(s) pala(s) de rotor, el rotor y los otros componentes eléctricos y mecánicos de la turbina eólica (tal como el tren de accionamiento, una caja de transmisión, el generador, la góndola y la torre) lo más bajas que se deseen con el fin de evitar desgaste adicional de cualquiera de estos componentes. En otras palabras, el límite de velocidad de rotación sirve como una medida de seguridad y de prevención de ruido. Tales medidas de límite de velocidad también son necesarias porque pueden no producirse entradas en pérdida medibles con exactitud a velocidades de rotación muy altas. Además, la reducción de ruido de las turbinas eólicas es un tema muy importante con el fin de cumplir con reglamentos legales de su funcionamiento y en particular, con el fin de no molestar a los habitantes de casas donde las turbinas eólicas estén relativamente cerca de zonas residenciales.

Tal como se ha descrito anteriormente, el ángulo límite, en particular, el ángulo de pérdida, resulta influido por factores temporales, en particular, suciedad y formación de hielo. Por tanto, un valor de ángulo límite adquirido en un punto del tiempo determinado puede no ser válido durante demasiado tiempo y puede ser necesario adaptarlo a nuevas condiciones de suciedad y formación de hielo, y a largo plazo también a nuevas condiciones de desgaste de las palas de rotor. Por tanto, es altamente preferible que la etapa a) se repita a intervalos de tiempo dados, preferiblemente al menos dos veces al día. Preferiblemente, las etapas b) y c) siguen a cada repetición de la etapa a). Esta verificación del ángulo límite repetida sirve para adaptar el ángulo de seguridad en caso de que se considere necesario debido a un ángulo límite cambiado. De nuevo, esta medida es tanto una medida de seguridad como una medida por la que puede conseguirse una mejor salida de potencia.

La repetición puede llevarse a cabo a intervalos regulares tales como en un momento dado de a día, la semana y/o el mes. Adicional o alternativamente, puede ser ventajoso si la etapa a) se repite después de la aparición de una condición de funcionamiento específica de la turbina eólica. En particular, tal condición de funcionamiento específica puede comprender ocasiones críticas durante el funcionamiento de la turbina eólica (y la pala de rotor), es decir, ocasiones después de las cuales puede esperarse que la condición (suciedad, formación de hielo, desgaste) de la pala de rotor empeore, es decir, que el ángulo límite puede ser uno reducido en comparación con la última determinación. Pero también (adicional o alternativamente) tales condiciones de funcionamiento pueden comprender ocasiones después de las cuales puede esperarse que la condición (de nuevo con respecto a suciedad, formación de hielo, desgaste etc.) de la pala de rotor mejore, es decir, que el ángulo límite puede ser uno aumentado en comparación con la última determinación.

Por ejemplo, la condición de funcionamiento específica puede comprender una parada del rotor o un número predefinido de paradas y/o la aparición de una condición meteorológica específica, en particular, precipitación.

En cuanto a la ocasión de una parada, puede esperarse que cuando el rotor de la turbina eólica comience a rotar de nuevo, pueden haber cambiado las condiciones de la pala de rotor mencionadas previamente. Además, después de una parada, el rotor rota al principio comparativamente despacio, de manera que su velocidad de rotación no supera cierto límite tal como el límite de velocidad mencionado anteriormente.

En cuanto a las precipitaciones, pueden conducir (dependiendo de la temperatura y el viento) a la formación de hielo de las palas de rotor o, por otro lado, a un efecto de limpieza cuando la lluvia lava el polvo y la suciedad de la pala de rotor de manera que la suciedad se reduce sustancialmente. En ambos casos, puede ser necesaria una nueva determinación del ángulo límite de la pala de rotor con el fin de poder reajustar el ángulo seguro.

El método según la invención puede usarse solamente con el propósito de determinación de un ángulo seguro adecuado. Sin embargo, también tiene otro efecto positivo que puede usarse, concretamente una determinación indirecta del estado de la pala de rotor. De ese modo, es preferible que un valor de parámetro de estado que representa el estado de la pala de rotor se derive del ángulo límite. El ángulo límite determinado puede usarse por tanto como representación del estado actual de la pala de rotor. Con el fin de derivar un valor de parámetro de estado que representa un parámetro de estado particular, puede ser ventajoso tener en cuenta varios factores adicionales en forma de otros valores de parámetro tales como la antigüedad de la pala de rotor, un valor de comportamiento a largo plazo del ángulo límite, las condiciones meteorológicas o similares. Por ejemplo, en condiciones meteorológicas que pueden conducir a hielo en la pala de rotor, un valor de parámetro de estado con respecto a la suciedad y/o el desgaste de la pala de rotor puede no ser exacto puesto que la pala de rotor puede estar simplemente cubierta de hielo.

Según dos variantes diferentes que pueden aplicarse de manera única o combinada, el valor de parámetro de estado se deriva de manera que (primera variante) comprende un valor de parámetro de condición de material que representa el estado de condición de material de la pala de rotor y/o (segunda variante) de manera que comprende un valor de parámetro de suciedad que representa el estado de suciedad de la pala de rotor. El valor de parámetro de condición de material se determina preferiblemente a largo plazo, es decir, durante un periodo de tiempo de al menos un mes, preferiblemente al menos tres meses, más preferiblemente al menos un año. De este modo, pueden equilibrarse efectos a corto plazo, tales como aquellos debidos a suciedad y/o formación de hielo. Por tanto, el valor de parámetro de condición de material se deriva preferiblemente de un valor de comportamiento a largo plazo del ángulo límite. Por el contrario, el valor de parámetro de suciedad puede ya estar derivado en una comparación entre dos ciclos sucesivos del método según la invención, pero ciertamente también durante un periodo de tiempo más largo.

Al estar el valor de parámetro de estado más allá de un valor umbral predefinido determinado, se genera preferiblemente una señal de alarma. Si el valor umbral se refiere a un valor de parámetro de estado que es de manera deseable lo más alto posible (tal como un valor de parámetro de estado que se refiere a la limpieza de la pala de rotor y/o al desgaste bajo de la pala de rotor), preferiblemente la alarma sólo se genera si el parámetro de estado pasa a estar por debajo de ese valor umbral. Por el contrario, si el valor umbral se refiere a un valor de parámetro de estado que es de manera deseable lo más bajo posible (tal como un valor de parámetro de estado con respecto a la suciedad de la pala de rotor y/o al desgaste de la pala de rotor), preferiblemente la alarma sólo se

genera si el parámetro de estado pasa a estar por encima de ese valor umbral.

Tal señal de alarma puede indicar la necesidad de una sustitución y/o una reparación de la pala de rotor, posiblemente en la siguiente inspección. La señal de alarma también puede usarse para desencadenar un procedimiento de limpieza, preferiblemente un procedimiento de limpieza automático, de la pala de rotor. Esta señal de alarma preferiblemente se refiere a un valor de parámetro de suciedad que va más allá de un valor umbral predefinido.

En cuanto al ángulo seguro que se determina en la etapa b) del método según la invención, que se deriva preferiblemente del ángulo límite sustrayendo del último un ángulo de margen de seguridad. Tal ángulo de margen de seguridad sirve para cubrir todas esas circunstancias debido a las que el ángulo límite se reduce antes de una nueva determinación del ángulo límite por medio del método según la invención. Sin embargo, puesto que el método según la invención es una determinación más exacta del ángulo límite que una mera presunción, el ángulo de margen de seguridad puede todavía ser más pequeño que el margen de seguridad según el estado de la técnica. De ese modo, es preferible que el ángulo de margen de seguridad sea al menos de 0,5°. Por otro lado, preferiblemente no es más alto de 2°, más preferiblemente no más alto de 1°. Esto ayuda a mejorar la salida de potencia global y todavía deja suficiente margen para un funcionamiento seguro de la turbina eólica.

En este contexto también puede mencionarse que el ángulo de margen de seguridad puede determinarse también teniendo en cuenta uno, varios o de hecho la totalidad de los siguientes factores determinantes representados por valores de parámetro representativos de estos factores: la densidad del aire, la cizalladura y el cambio de dirección del viento, la humedad del aire, la presión del aire y turbulencias del aire, es decir, factores de entorno que tienen un efecto en el comportamiento de las palas de rotor.

El ángulo de margen de seguridad también puede ajustarse dependiendo de un valor de antigüedad y/o un valor de parámetro de estado de la pala de rotor. Eso significa que dependiendo de la antigüedad (y por tanto, de un desgaste presuntamente más alto) de la pala de rotor y o dependiendo directamente del estado de la pala de rotor, estado que se representa mediante el valor de parámetro de estado, puede variarse el ángulo de margen de seguridad. Como norma preferible, cuanto más antigua sea la pala y/o peor sea su condición (con respecto a los valores de parámetro de estado mencionados anteriormente, es decir, cuanto más bajo sea el ángulo límite) más alto será el ángulo de margen de seguridad seleccionado. Tal ajuste del ángulo de margen de seguridad dependiendo del valor de parámetro de estado también puede llevarse a cabo en un ciclo de sistema de autoaprendizaje en el que el sistema aprende automáticamente después de que las etapas a) a c) se hayan llevado a cabo repetidamente, qué ángulo de margen de seguridad es necesario en qué valor de parámetro de estado para representar un control global suficientemente seguro de la regulación de paso de la pala de rotor.

La mayoría de las turbinas eólicas comprenden rotores con una pluralidad de palas de rotor, por ejemplo, la pala de rotor descrita en la figura 1. En este contexto cabe mencionar que hay varias estrategias de cómo ocuparse de palas de rotor individuales en un rotor con varias palas de rotor al determinar el ángulo límite (en particular, cuando el ángulo límite comprende un ángulo de pérdida).

Un primer enfoque es ajustar el ángulo de paso de cada pala de rotor individualmente según el método según la invención. Eso también significa que el ángulo límite para cada pala de rotor se determina individualmente.

Un segundo enfoque es determinar individualmente los ángulos límite de cada una de las palas de rotor y derivar entonces un ángulo seguro para todas las palas de rotor del rotor, por lo que el ángulo límite más bajo de todas las palas de rotor determina los ángulos seguros de todas ellas.

Un tercer enfoque es tomar una pala de rotor como representativa de todas las palas de rotor del rotor y ajustar los ángulos de paso de todas las palas de rotor dependiendo del ángulo de seguridad de la pala de rotor representativa.

Generalmente, es preferible que el ángulo límite se determine durante un periodo de tiempo durante el que la pala de rotor pasa por al menos un ciclo de rotación completo, es decir, durante el que el rotor ha rotado al menos 360°. Esto ayuda a explicar influencias de funcionamiento tales como cizalladura de viento y un cambio del ángulo de ataque durante el ciclo de rotación. Qué enfoque se elige depende de la experiencia y de una suposición de coste-beneficio: el primer enfoque es el más exacto, sin embargo, implica que se pueda regular el paso de diferentes palas de rotor en diferentes ángulos con respecto al viento, lo que puede tener efectos adversos, también en relación con la salida de potencia de la turbina eólica. El segundo enfoque es menos exacto, pero conduce a un ángulo de paso global, lo que puede ser muy eficaz. El último enfoque en el que preferiblemente se usa como referencia la pala de rotor más antigua o la más desgastada de todas, puede ser menos eficaz con relación a la salida de potencia, pero también es la que implica menos esfuerzo.

Otros objetos y características de la presente invención resultarán evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas consideradas en conjunto con los dibujos adjuntos. Sin embargo, debe entenderse que los dibujos están diseñados únicamente con el propósito de ilustración y no como definición de los límites de la invención. No están necesariamente dibujados a escala.

La figura 1 muestra una vista frontal de una turbina eólica según la técnica anterior,

la figura 2 muestra una vista frontal de una de las palas de rotor de la turbina eólica de la figura 1,

la figura 3 muestra una vista en sección transversal de la pala de rotor de la figura 2,

la figura 4 muestra un diagrama que muestra el comportamiento de coeficiente de elevación de dos palas de turbina eólica según la técnica anterior,

la figura 5 muestra en un diagrama de bloques esquemático dos realizaciones de sistemas de ajuste de ángulo de paso según la invención,

la figura 6 muestra un diagrama de un ajuste del ángulo de ataque de una pala de rotor usando un método según la invención,

la figura 7 muestra dos curvas de salida de potencia, una de una turbina eólica según el estado de la técnica y una de una turbina eólica según una realización de la invención,

la figura 8 muestra un diagrama de bloques esquemático de etapas de una realización del método según la invención.

Las figuras 1 a 4 ya se han explicado anteriormente con referencia a la técnica anterior.

La figura 5 muestra un diagrama de bloques de dos realizaciones de sistemas 33, 33' de ajuste de ángulo de paso según la invención:

Una pala 3 de rotor de una turbina 1 eólica tal como las representadas en las figuras 1 a 3 está equipada con tales sistemas 33, 33' de ajuste de ángulo de paso. El primer sistema 23 de ajuste de ángulo de paso comprende un variador 25 de paso, un sensor 27 de medición y una unidad 29 de derivación y análisis. El variador 25 de paso, el sensor 27 de medición y la unidad 29 de derivación y análisis están todos conectados a un actuador 33 de ajuste de paso por medio de una interfaz común o por medio de varias interfaces (no mostradas). El segundo sistema 33' de ajuste de ángulo de paso comprende todos los componentes del primer sistema 23 de ajuste de ángulo de paso más el actuador 33 de ajuste de paso.

El actuador 33 de ajuste de paso ajusta el ángulo de paso. Se acciona mediante el variador 25 de paso que da órdenes de regulación de paso PO al mismo. De ese modo, el variador 25 de paso varía el ángulo de paso de la pala de rotor durante el funcionamiento con el viento de la turbina 1 eólica desde un ángulo inicial hasta alcanzar un ángulo límite, en este caso, un ángulo de pérdida en el que la pala de rotor comienza a entrar en pérdida.

A cambio, el actuador 33 de ajuste de paso genera datos de medición MD que se entregan al sensor 27 de medición. Estos datos de medición MD representan la fuerza de elevación, representada por el coeficiente de elevación C_l de la pala 3 de rotor tal como se ha descrito con referencia a las figuras 3 y 4. A partir de esos datos de medición MD, el sensor 27 de medición genera una señal de medición límite SMS, en este caso, una señal de medición de entrada en pérdida SMS, una vez que se haya alcanzado el ángulo límite. A partir de esta señal de medición de entrada en pérdida SMS, es decir, a partir de la información de que se ha alcanzado el ángulo de pérdida en cierto ángulo de paso, la unidad 29 de derivación y análisis genera un ángulo seguro SPA que entrega al actuador 33 de ajuste de paso.

El actuador 33 de ajuste de paso recibe la orden de no superar el ángulo seguro SPA durante el funcionamiento normal. Por tanto, hace funcionar la pala de rotor en el ángulo seguro SPA o a un ángulo desde el ángulo seguro SPA lejos del ángulo límite, es decir, un ángulo más bajo que el ángulo seguro SPA.

La figura 6 muestra en un diagrama el comportamiento de ajuste de los sistemas 33, 33' de ajuste de ángulo de paso con más detalle. Durante el tiempo t se representa el ángulo de ataque α de la pala 3 de rotor que (entre otros) depende del ángulo de paso de la pala 3 de rotor.

Inicialmente, en un primer punto de tiempo t_0 , se regula el paso de la pala 3 de rotor de manera que la pala 3 de rotor tiene un ángulo de ataque inicial α_0 . Entonces, se regula su paso hacia un (primer) ángulo de pérdida α_1 en el que la pala 3 de rotor comienza a entrar en pérdida. Esto se produce en un segundo punto de tiempo t_1 . Los sistemas 33, 33' de ajuste de ángulo de paso reducen entonces el ángulo de ataque α mediante un ángulo de margen de seguridad Δ_α a un (primer) ángulo seguro α_3 que es el ángulo de pérdida α_1 menos el ángulo de margen de seguridad Δ_α . Se regula el ángulo de la pala 3 de rotor en este ángulo seguro α_3 o por debajo hasta que la etapa a) del método según la invención se repite en un tercer punto de tiempo t_2 después de un lapso Δ_t de tiempo preferiblemente predefinido, que es, por ejemplo, medio día. Entonces, el ángulo de ataque α está de nuevo en el

punto de tiempo t_2 aumentado a un (segundo) ángulo de pérdida α_2 , que, en este caso, es más bajo que el anterior (primer) ángulo de pérdida α_1 . Este (segundo) ángulo de pérdida α_2 nuevo se alcanza en un cuarto punto de tiempo t_3 . Esta reducción en cantidad de los ángulos de pérdida α_1 , α_2 se debe por ejemplo a la suciedad de la pala 3 de rotor. Por consiguiente, desde el cuarto punto de tiempo t_3 , el ángulo de ataque α se reduce de nuevo mediante el ángulo de margen de seguridad Δ_α a un (segundo) ángulo seguro α_4 que es el (segundo) ángulo de pérdida α_2 nuevo menos el mismo ángulo de margen de seguridad Δ_α . Entonces, se regula el paso de la pala 3 de rotor en este segundo ángulo seguro α_4 o por debajo hasta que la etapa a) del método según la invención se repita otra vez.

Tal procedimiento se lleva a cabo en una condición específica, en particular, con una velocidad de viento específica. Puede repetirse con diferentes velocidades de viento con el fin de recibir una serie de ángulos seguros con diferentes velocidades de viento. Alternativa y/o adicionalmente, el valor de parámetro de estado de suciedad o desgaste de la pala 3 de rotor puede determinarse a partir de los ángulos de pérdida α_1 , α_2 (véase a continuación con referencia a la figura 8), a partir de los cuales también puede calcularse una serie de ángulos seguros para diferentes velocidades de viento.

La figura 7 muestra dos curvas de potencia C_1 , C_2 de una turbina 1 eólica, representando la primera curva de potencia C_1 la salida de potencia eléctrica P (no a escala) con respecto a la velocidad v del viento en m/s cuando la turbina 1 eólica se hace funcionar según el estado de la técnica. La segunda curva de potencia C_2 representa la salida de potencia eléctrica P (no a escala) con respecto a la velocidad v de viento en m/s cuando los ángulos de paso de las palas 3 de rotor de la turbina 1 eólica se han ajustado según una realización del método según la invención. Puede observarse que debido al método según la invención, se regula el paso de las palas 3 de rotor de manera que la segunda curva de potencia C_2 correspondiente se eleva bruscamente y por tanto alcanza más rápido una salida de potencia máxima $P_{1/2}$. En comparación con la primera curva de potencia C_1 , la salida de potencia máxima $P_{1/2}$ se alcanza a una velocidad v de viento que es 2 m/s más baja, concretamente a una velocidad del viento v_2 de aproximadamente 10 m/s en comparación con una velocidad del viento v_1 de aproximadamente 12 m/s cuando se refiere a la primera curva de potencia C_1 . La figura 7 puede usarse también como referencia para otra realización del método según la invención. Tal como se ha descrito anteriormente, puede usarse como ángulo límite α_1 , α_2 de la pala 3 de rotor un ángulo de pérdida α_1 , α_2 .

Sin embargo, también es posible usar el ángulo en el que la turbina 1 eólica muestra la salida de potencia máxima $P_{1/2}$ como ángulo límite.

La figura 8 muestra un diagrama de bloques de una realización del método Z según la invención, para el que se hace referencia a la figura 6, en particular, al procedimiento hasta la primera reducción del ángulo de paso α .

En una primera etapa Y opcional, la velocidad de rotación del rotor 9 de la turbina 1 eólica se reduce a o por debajo de un límite de velocidad SL. Entonces, en una segunda etapa X, el ángulo de paso, es decir, el ángulo de ataque α se varía durante el funcionamiento con el viento de la turbina 1 eólica a partir del ángulo inicial α_0 hasta alcanzar el ángulo de pérdida α_1 en el que la pala 3 de rotor comienza a entrar en pérdida. En una tercera etapa W, el ángulo seguro α_2 se deriva del ángulo de pérdida α_1 , concretamente sustrayendo el ángulo de margen de seguridad Δ_α del ángulo de pérdida α_1 . Este ángulo de margen de seguridad Δ_α puede predefinirse en una etapa R opcional adicional. En una cuarta etapa V, la pala 3 de rotor se hace funcionar en el ángulo seguro α_3 o un ángulo por debajo del ángulo seguro α_3 . Además, en una etapa U opcional adicional, un valor de parámetro de estado SPV se deriva del ángulo de pérdida α_1 . El valor de parámetro de estado SPV representa el estado de la pala 3 de rotor, por ejemplo, su estado de suciedad y/o su estado de formación de hielo y/o su desgaste. Una etapa T opcional adicional incluye la generación de una señal de alarma AS si el valor de parámetro de estado SPV está más allá de cierto umbral predefinido. Esta señal de alarma, una etapa S opcional adicional, puede conducir a un procedimiento de limpieza automático de la pala 3 de rotor, por ejemplo, si el valor de parámetro de estado SPV representa un estado de suciedad y/o un estado de formación de hielo que puede mejorarse mediante limpieza.

Las líneas discontinuas de la etapa V y la etapa U indican que el método según la invención se lleva a cabo preferiblemente de manera repetida, tal como se ha explicado con referencia a la figura 6. En una segunda ronda, se vuelve a hacer de nuevo el mismo procedimiento tal como se ha descrito anteriormente, dando así como resultado el segundo ángulo de pérdida α_2 y el segundo ángulo seguro α_4 . También puede observarse que los valores de parámetro de estado pueden usarse para la definición del ángulo de margen de seguridad Δ_α en la etapa R después de la primera repetición del método Z.

Aunque la presente invención se ha dado a conocer en forma de realizaciones preferidas y variaciones de las mismas, se entenderá que pueden hacerse numerosas modificaciones y variaciones adicionales de las mismas sin apartarse del alcance de la invención.

Con fines de claridad, debe entenderse que el uso de "un" o "una" a lo largo de esta solicitud no excluye una pluralidad, y "que comprende" no excluye otras etapas o elementos.

REIVINDICACIONES

1. Método (Z) de ajuste de un ángulo de paso (α) de una pala (3) de rotor de un rotor (9) de una turbina (1) eólica, que comprende las siguientes etapas:
5
a0) reducir la velocidad de rotación del rotor (9) por debajo de un límite de velocidad (SL);
a) variar (X) el ángulo de paso de la pala (3) de rotor durante el funcionamiento con el viento de la turbina (1) eólica desde un ángulo inicial hasta alcanzar un ángulo límite que comprende un ángulo de pérdida (α_1 , α_2) en el que la pala (3) de rotor comienza a entrar en pérdida,
10
b) derivar un ángulo seguro (α_3 , α_4) dependiente del ángulo límite (α_1 , α_2),
c) hacer funcionar la pala (3) de rotor en el ángulo seguro (α_3 , α_4) o un ángulo más bajo que el ángulo seguro (α_3 , α_4).
15
2. Método (Z) según la reivindicación 1, que comprende una etapa de variar el ángulo de paso de la pala (3) de rotor durante el funcionamiento con el viento de la turbina (1) eólica desde un ángulo inicial hasta alcanzar un ángulo límite en el que una salida de potencia (P) alcanza una salida de potencia máxima ($P_{1/2}$).
20
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, mediante el cual el ángulo de pérdida (α_1 , α_2) comprende un ángulo en el que se mide una disminución de elevación después de alcanzar un nivel de elevación máximo.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, mediante el cual la etapa a) se realiza con un límite de velocidad (SL) máximo predefinido de una velocidad de rotación del rotor (9).
25
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, repetido a intervalos de tiempo dados, preferiblemente al menos dos veces al día.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, repetido después de la aparición de una condición de funcionamiento específica de la turbina (1) eólica.
30
7. Método según la reivindicación 6, mediante el cual la condición de funcionamiento específica comprende una parada y/o una aparición de una condición meteorológica específica, en particular, precipitación.
35
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, mediante el cual un valor de parámetro de estado (SPV) que representa un estado de la pala (3) de rotor se deriva del ángulo de pérdida (α_1 , α_2).
9. Método según la reivindicación 8, mediante el cual el valor de parámetro de estado (SPV) se deriva de manera que comprende un valor de parámetro de condición de material que representa un estado de condición de material de la pala (3) de rotor y/o de manera que comprende un valor de parámetro de suciedad que representa un estado de suciedad de la pala (3) de rotor.
40
10. Método según la reivindicación 9, mediante el cual al estar el valor de parámetro de estado (SPV) más allá de un determinado valor umbral predefinido, se genera una señal de alarma (AS), usándose preferiblemente la señal de alarma (AS) para desencadenar un procedimiento de limpieza (S), lo más preferido un procedimiento de limpieza automático, de la pala (3) de rotor.
45
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, mediante el cual en la etapa b) el ángulo seguro (α_3 , α_4) se deriva a partir del ángulo de pérdida (α_1 , α_2) sustrayendo del ángulo de pérdida (α_1 , α_2) un ángulo de margen de seguridad (Δ_α).
50
12. Método según la reivindicación 11, mediante el cual el ángulo de margen de seguridad (Δ_α) se ajusta dependiendo de un valor de antigüedad y/o un valor de parámetro de estado (SPV) de la pala (3) de rotor.
55
13. Sistema (33') de ajuste de ángulo de paso para una pala (3) de rotor de una turbina (1) eólica configurado para realizar todas las etapas de un método según la reivindicación 1.
14. Producto de programa informático directamente descargable en un procesador de un sistema (33') programable de ajuste de ángulo de paso que comprende medios de código de programa para llevar a cabo todas las etapas de un método (Z) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 cuando el producto de programa informático se ejecuta en el sistema (33') de ajuste de ángulo de paso.
60
15. Turbina (1) eólica con un rotor (9) que comprende varias palas (3) de rotor y con un sistema (33') de ajuste de ángulo de paso según la reivindicación 13.
65

FIG 1

TÉCNICA ANTERIOR

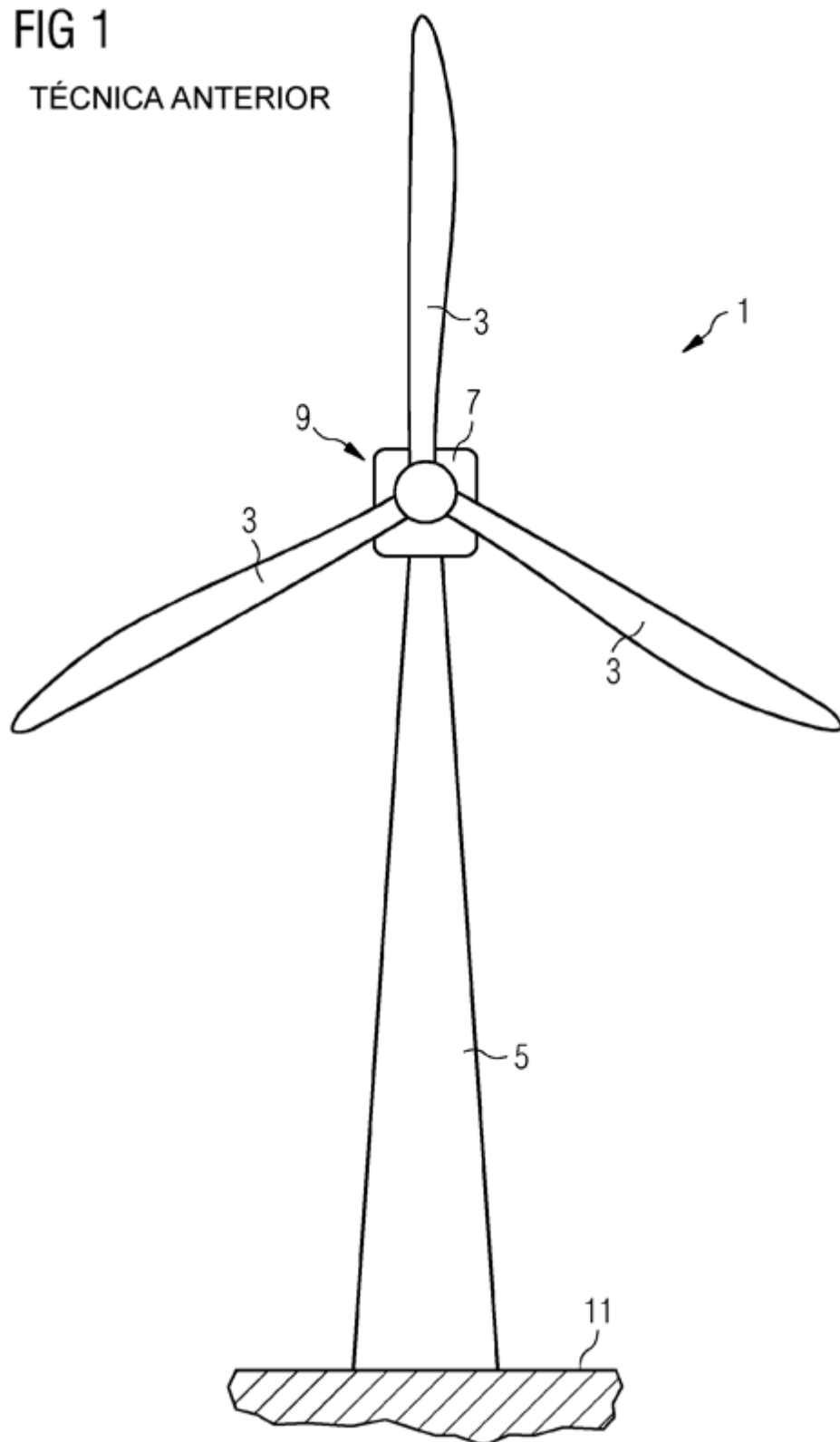


FIG 2 TÉCNICA ANTERIOR

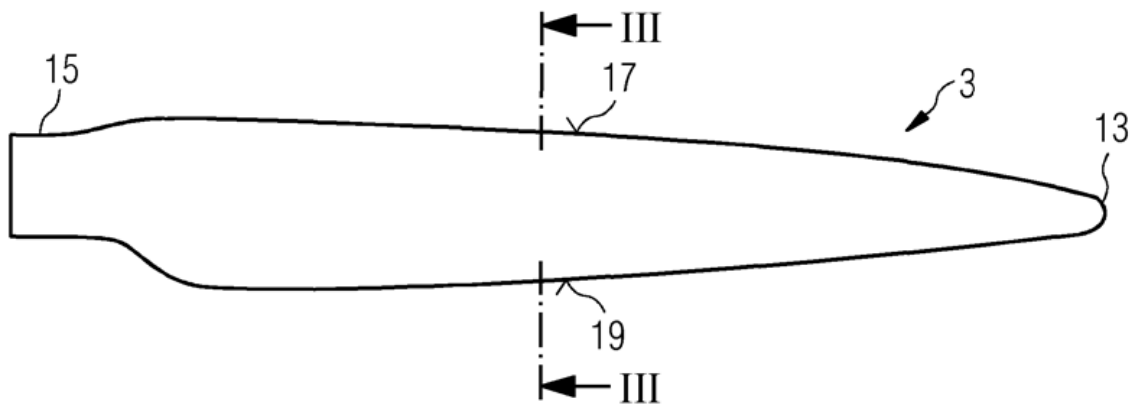


FIG 3 TÉCNICA ANTERIOR

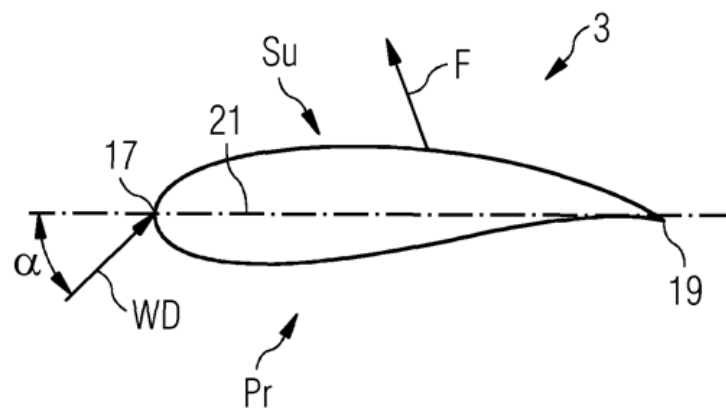


FIG 4 TÉCNICA ANTERIOR

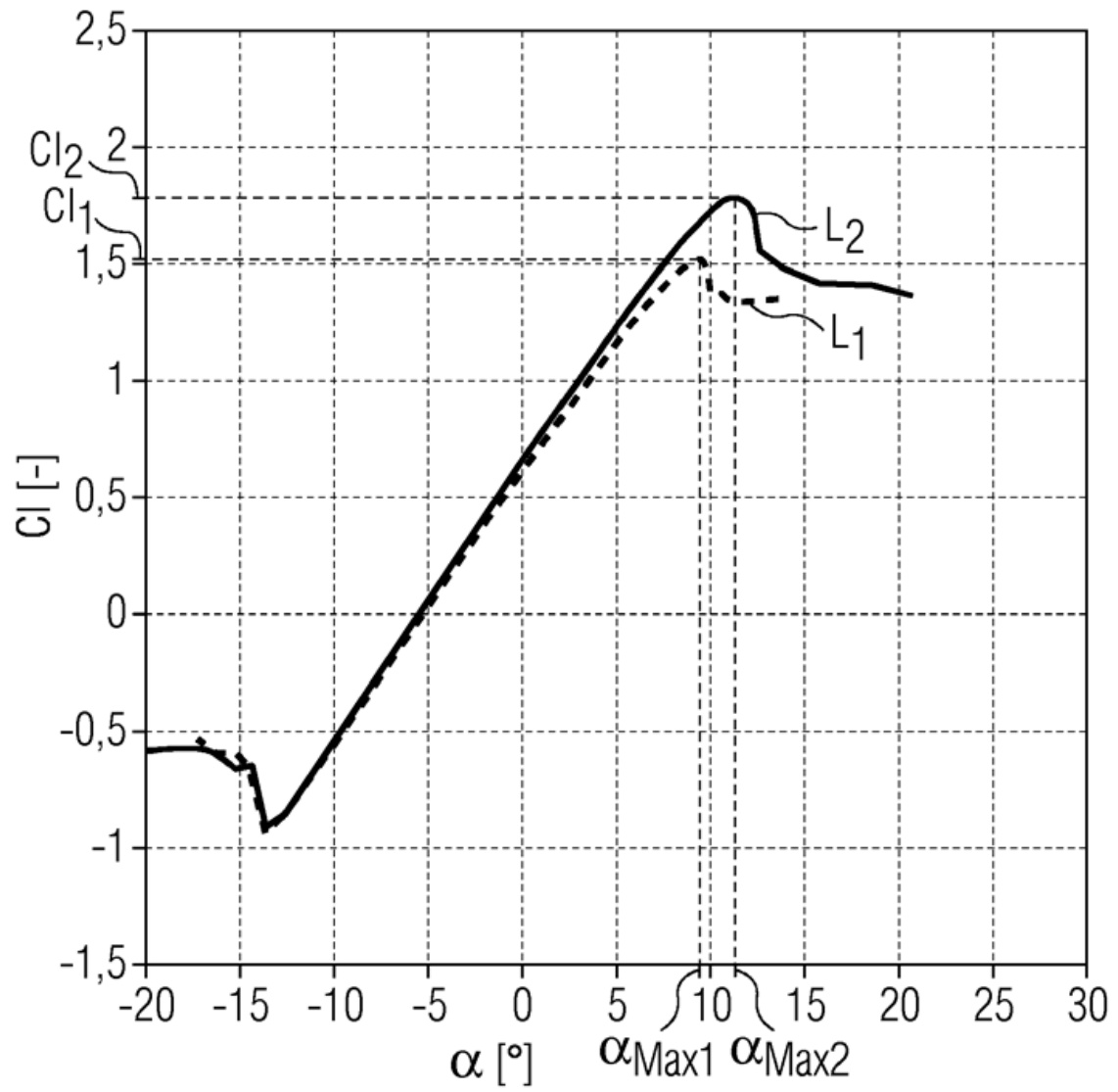


FIG 5

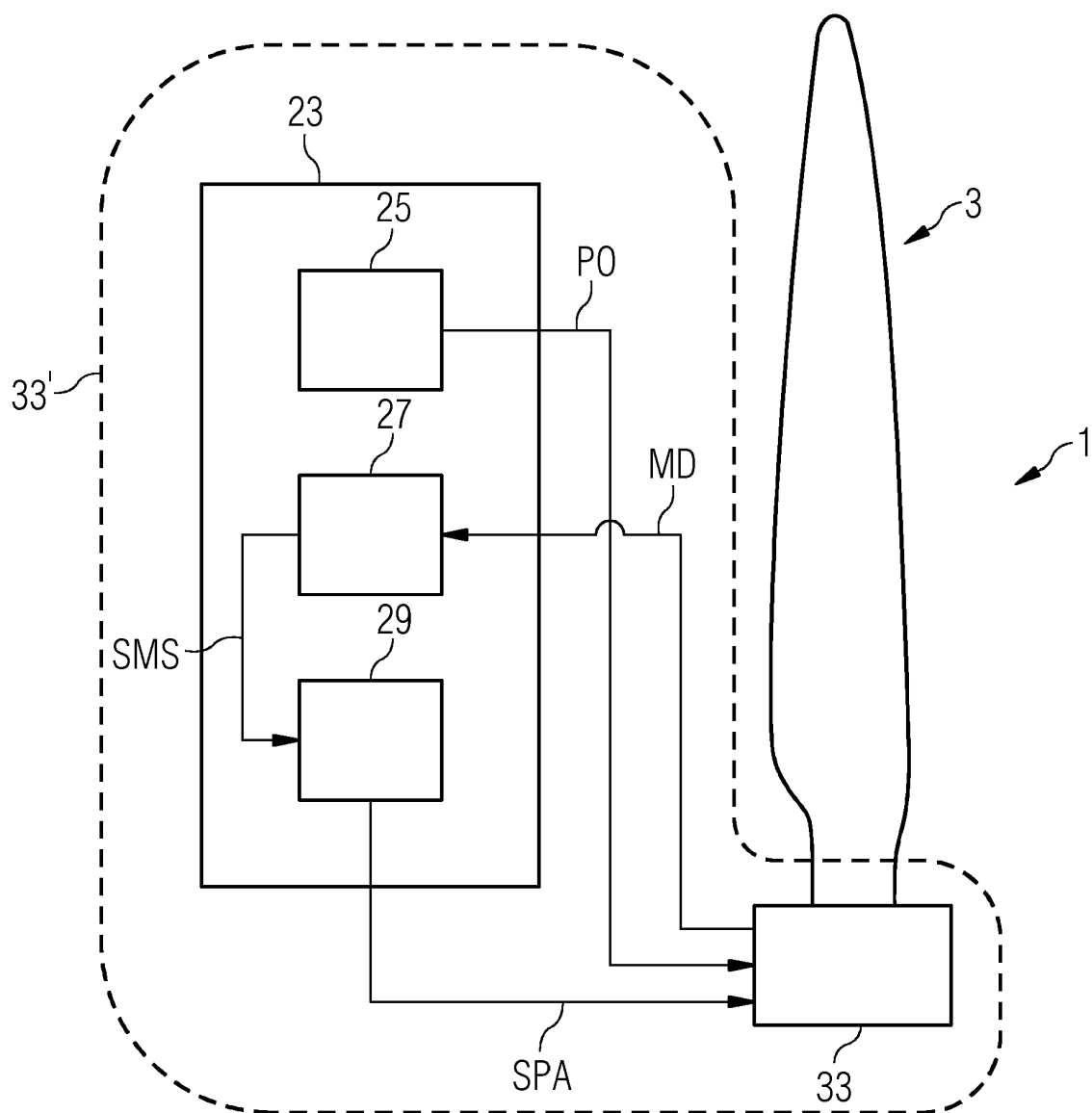


FIG 6

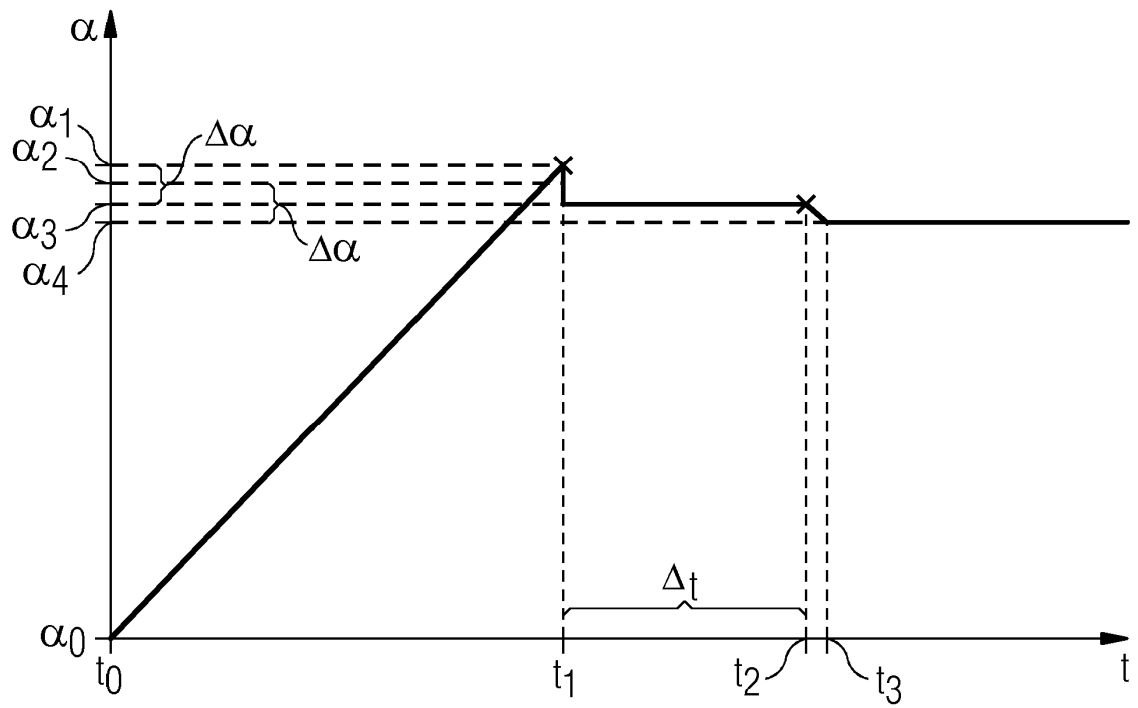


FIG 7

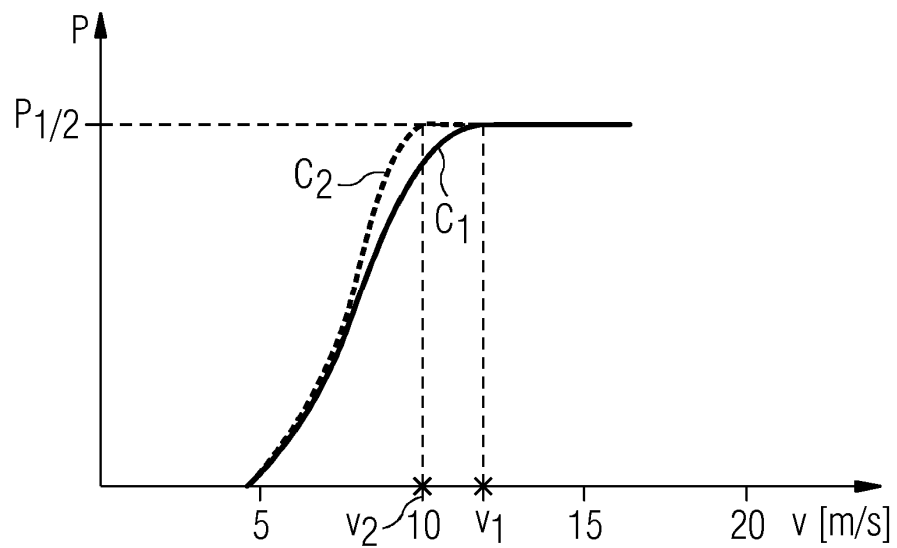


FIG 8

