

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 843 742**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2018** **E 18180141 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.10.2020** **EP 3587798**

54 Título: **Estructura aerodinámica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
20.07.2021

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

OERLEMANS, STEFAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 843 742 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Estructura aerodinámica

La invención describe una estructura aerodinámica para una pala de rotor de turbina eólica, una pala de rotor de turbina eólica con tal estructura aerodinámica, y un método para equipar una pala de rotor de turbina eólica con una estructura aerodinámica.

El nivel de ruido generado por una turbina eólica es un factor importante que determina si se dará permiso para construir una turbina eólica de este tipo, específicamente cuando el sitio está cerca de una zona residencial. En general, el ruido que se origina en el rotor aerodinámico se considera el más problemático. Por lo tanto, se está invirtiendo mucho esfuerzo en encontrar formas de reducir el ruido generado por las palas de rotor de turbina eólica cuando se mueven por el aire. La forma más sencilla de reducir el ruido que se origina en un rotor aerodinámico es reducir su velocidad de rotación, pero esto está directamente asociado con una penalización sustancial en la producción de energía. Por lo tanto, sería más preferible identificar otras formas de reducir el nivel de ruido.

Para una turbina eólica grande con longitudes de pala de rotor superiores a 20 - 30 m, la fuente de ruido dominante es el ruido de borde de salida. Los remolinos se desarrollan cuando el aire fluye sobre el lado de aspiración y el lado de presión, resultando en unas turbulencias que pasan por el borde de salida de la pala, que provocan ruido en el borde de salida. La causa del ruido de borde de salida también puede considerarse como una distribución de presiones superficiales inestables en el borde de salida. Las presiones superficiales son la huella o firma de la capa límite turbulenta. El ruido de borde de salida se genera principalmente en la parte exterior de una pala de rotor, es decir, en la región de plano aerodinámico exterior, debido a las mayores velocidades de rotación.

Hay varias formas de modificar una pala de rotor con el objetivo de reducir el ruido de borde de salida. Por ejemplo, en lugar de un borde de salida recto, al borde de salida se le puede dar una forma de borde dentado o de "diente de sierra" a lo largo de una parte exterior de la pala de rotor. Los bordes dentados reducen eficazmente la dispersión de los vórtices en el borde de salida. Sin embargo, mientras que un borde dentado puede reducir el ruido de borde de salida hasta cierto punto, no puede eliminar el ruido por completo. Por lo tanto, aunque los bordes dentados de borde de salida pueden reducir el ruido de borde de salida, permanecen niveles de ruido significativos.

El efecto de reducción de ruido de los bordes dentados del borde de salida puede mejorarse disponiendo unos elementos de peine entre los bordes dentados. Un elemento de peine se origina a lo largo de los bordes de dos bordes dentados adyacentes y termina en una línea de terminación definida por las puntas de esos bordes dentados. Estos elementos de peine se localizan en el mismo plano que los bordes dentados, es decir, los dientes de peine se localizan cerca de la dirección de flujo de aire principal. Puede entenderse que el efecto acústico beneficioso de tales elementos de peine surge a partir de la difusión de un vórtice en herradura (es decir, los peines entre bordes dentados rompen un vórtice grande en vórtices más pequeños) y/o la disipación de parte de la energía en el flujo de aire turbulento.

El documento CN106481517A propone unir peines superpuestos a lo largo del borde de salida de una pala de rotor. Otros intentos de reducir el ruido de pala de rotor se conocen de la técnica anterior. Por ejemplo, El documento WO2015/167604A1 propone el montaje de elementos separados a intervalos sobre un plano aerodinámico para lograr una separación del flujo de aire a lo largo de un tramo. También se conoce a partir del documento EP3181895A1 insertar unos galones más pequeños entre los bordes dentados a lo largo del borde de salida, y a partir del documento WO2006/001420A1 unir unas paletas de enderezamiento por flujo al borde de salida. De manera adicional, el documento EP 2 647 835 A1 describe una disposición de aleta flexible para una pala de rotor de turbina eólica.

Mientras que los bordes dentados, los elementos de peine en plano y los esfuerzos de reducción de ruido conocidos de la técnica anterior pueden tener un efecto positivo notable en el ruido de borde de salida al difundir la turbulencia inmediatamente detrás del borde de salida, no tienen un efecto significativo sobre la turbulencia que está presente corriente arriba del borde de salida. Por lo tanto, las soluciones conocidas tienen una capacidad limitada para reducir el ruido aerodinámico generado por una pala de rotor.

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar una forma mejorada de reducir el ruido generado por una pala de rotor de turbina eólica.

Este objeto se logra mediante la estructura aerodinámica de pala de rotor de turbina eólica de la reivindicación 1; y por la pala de rotor de turbina eólica de la reivindicación 11.

De acuerdo con la invención, la estructura aerodinámica es para montarse en una superficie de una pala de rotor de turbina eólica y comprende una pluralidad de elementos de peine rectangulares y/o una pluralidad de elementos de peine angulares o en forma de V, en la que un elemento de peine comprende unos dientes de peine dispuestos en un plano de peine que subtiende un ángulo con la superficie de la pala de rotor, en la que el plano de peine de un elemento de peine está inclinado un ángulo de hasta 45° con respecto a la superficie de la pala de rotor y en la que un elemento

de peine comprende una serie de nervaduras de soporte dispuestas para mantener el ángulo de inclinación del plano de peine. En el contexto de la invención, puede entenderse que el plano de peine de un elemento de peine rectangular tenga la forma de un rectángulo, mientras que puede entenderse que el plano de peine de un elemento de peine angular tenga una forma de galón, como quedará claro en los dibujos.

- 5 Se sabe montar diversos tipos de estructura en un plano aerodinámico con el fin de reducir el ruido generado por la pala de rotor, por ejemplo, un escudo o cubierta porosa que reduce la dispersión de las presiones superficiales en el borde de salida de plano aerodinámico. Esta estructura porosa puede extenderse sobre una parte significativa de la pala de rotor en la región exterior. Sin embargo, tales estructuras pueden no reducir el ruido de borde de salida a un nivel completamente satisfactorio. La invención se basa en la visión de que el ruido de borde de salida puede reducirse
10 aún más cuando la capa límite se aleja de la superficie de plano aerodinámico. Se entiende que la reducción del ruido surge a partir del aumento de la distancia entre la turbulencia sobre el plano aerodinámico y el borde de salida, de tal manera que haya menos dispersión acústica de los vórtices en el borde de salida. La presente invención proporciona unos medios para lograr este efecto, disponiendo una pluralidad de elementos de peine en la pala de rotor. La estructura aerodinámica puede comprender dos o más elementos de peine rectangulares dispuestos en una formación paralela, y/o una pluralidad de elementos de peine angulares o en forma de V dispuestos a lo largo del borde de salida de la pala de rotor.
15

- Un elemento de peine está preferentemente inclinado un ángulo en el intervalo de 0° a 45° con respecto a la superficie de plano aerodinámico de la pala de rotor. Ya que cada elemento de peine tiene una forma plana general como se ha definido anteriormente, cada elemento de peine actúa como un "dosel" para empujar la capa límite hacia fuera desde
20 la pala de rotor. En lo sucesivo en el presente documento, un elemento de peine rectangular o angular puede denominarse "elemento de peine de dosel" con el efecto beneficioso correspondiente descrito anteriormente, a saber, para mover los vórtices de capa límite más grandes más hacia fuera desde la superficie de plano aerodinámico con el fin de suprimir la dispersión acústica en el borde de salida. Además de esta función, las fibras de peine de un elemento de peine de dosel pueden actuar como un separador a lo largo de un tramo en un flujo de aire turbulento sobre la superficie de plano aerodinámico de la pala. El efecto de esta separación de flujo a lo largo de un tramo es para estabilizar el flujo de aire turbulento transformando grandes vórtices en un mayor número de vórtices más pequeños, que generarán menos ruido audible al pasar sobre el borde de salida.
25

- De acuerdo con la invención, una pala de rotor de turbina eólica comprende una estructura aerodinámica de este tipo montada en una superficie de la pala de rotor. Preferentemente, la estructura aerodinámica inventiva se extiende, por
30 ejemplo, a lo largo de la mitad exterior o el tercio exterior de una pala de rotor. Con una estructura aerodinámica de este tipo en su lugar, el ruido acústico puede reducirse significativamente. Las emisiones de ruido de una turbina eólica equipada con tales palas de rotor pueden reducirse de manera eficiente. Durante la operación de la turbina eólica, las palas de rotor se mueven a través del aire, de tal manera que un flujo de aire pasa sobre una pala de rotor, y el flujo de aire pasa en primer lugar por la estructura aerodinámica inventiva antes de alcanzar el borde de salida de la pala de rotor. La turbulencia cerca del borde de salida de una pala de rotor puede reducirse en gran medida, de tal manera
35 que la turbina eólica pueda cumplir con los requisitos de las normativas sobre ruido acústico aplicables cuando opere a su potencia nominal. Otra ventaja es que puede ser posible instalar tales turbinas eólicas más cerca de áreas acústicamente sensibles. Sin medidas de reducción de ruido, muchas turbinas eólicas en tierra deben realizar un acorto, es decir, operarse a potencia reducida, con el fin de cumplir con los límites de ruido aplicables. Cuando se reduce el ruido aerodinámico, por ejemplo, desplegando la estructura aerodinámica inventiva, tales turbinas eólicas pueden realizar un acorto menor, lo que significa que producen más energía mientras se mantienen dentro del límite de ruido. La estructura aerodinámica inventiva puede usarse al instalar nuevas turbinas eólicas y también para modernizar las turbinas eólicas existentes.
40

- En las reivindicaciones dependientes se proporcionan unas realizaciones y características específicamente ventajosas de la invención, como se revela en la siguiente descripción. Las características de diferentes categorías de reivindicaciones pueden combinarse según sea apropiado para proporcionar unas realizaciones adicionales no descritas en el presente documento.
45

- Un elemento de peine de dosel puede fabricarse de cualquier material adecuado, por ejemplo, un polímero o plástico adecuado. Puede fabricarse un elemento de peine de dosel usando cualquier técnica adecuada tal como moldeo por inyección, fundición, etc. Preferentemente, las fibras de peine o los dientes de peine de un elemento de peine de dosel son paralelos entre sí y están separados por una distancia suficiente. Por ejemplo, Las fibras de peine pueden tener un diámetro del orden de 1,0 mm y pueden estar separadas por una distancia que es aproximadamente la misma que el diámetro de las fibras de peine.
50

- La estructura aerodinámica puede construirse de cualquier manera adecuada. En una realización preferida de la invención, la estructura aerodinámica se fabrica formando los elementos de peine de dosel y embebiendo los dientes de un elemento de peine de dosel a una profundidad adecuada en los medios de montaje a lo largo de una línea de montaje. La serie de puntos desde los que los dientes de un elemento de peine de dosel se extienden hacia fuera desde los medios de montaje pueden considerarse colectivamente como la "línea de montaje" de ese elemento de peine de dosel. En una realización alternativa, la estructura aerodinámica se fabrica formando los elementos de peine
55

de dosel y pegando los extremos internos de los dientes de un elemento de peine de dosel a lo largo de una línea de montaje en la superficie de los medios de montaje. En una realización alternativa adicional, la estructura aerodinámica se fabrica formando los elementos de peine de dosel, que forman unos orificios en los medios de montaje a lo largo de una línea de montaje y, desde debajo de los medios de montaje, pasando los dientes de un elemento de peine de dosel a través de los orificios. Los medios de montaje pueden realizarse como una tira de un material (por ejemplo, una tira de plástico) que se pega o une de otro modo a la superficie exterior de la pala de rotor, de tal manera que una pala de rotor ya existente pueda modernizarse con una o más instancias de la estructura aerodinámica inventiva.

Una superficie de montaje puede ser una superficie del de plano aerodinámico de pala de rotor. Una realización de la estructura aerodinámica inventiva se monta preferentemente en el lado de aspiración de la pala de rotor. Igualmente, una superficie de montaje puede ser la superficie de un conjunto de borde de salida dispuesto a lo largo del borde de salida de la pala de rotor. Como alternativa o además, puede montarse una realización de la estructura aerodinámica inventiva en el lado de presión de la pala de rotor. Una realización de la estructura aerodinámica inventiva se extiende preferentemente sobre el exterior del 50 % de la pala de rotor.

Preferentemente, un elemento de peine de dosel está dispuesto sobre un medio de montaje realizado para montar el elemento de peine en una superficie de montaje de la pala de rotor. Un elemento de peine de dosel está, en general, dispuesto a lo largo de una dirección de la raíz a la punta, y los medios de montaje se unen preferentemente a la superficie de plano aerodinámico de la pala en una dirección a lo largo de un tramo, es decir, en una dirección definida por una línea que se extiende entre la raíz de la pala y la punta de la pala, o en una dirección definida por el borde de salida de la pala de rotor, de tal manera que el elemento de peine de dosel se extiende esencialmente en una dirección a lo largo de un tramo. La superficie de montaje puede incluir una superficie de un conjunto de borde de salida de la pala de rotor, por ejemplo, un elemento de peine angular o de galón puede montarse parcial o completamente sobre un borde dentado de un conjunto de borde de salida de borde dentado.

En una realización preferida de la invención, un medio de montaje de un elemento de peine de dosel rectangular está unidos a la superficie de plano aerodinámico de la pala de rotor a una distancia hacia dentro (es decir, corriente arriba) del borde de salida. La distancia hacia dentro desde el borde de salida puede determinarse mediante un cálculo usando modelos adecuados y/o sobre la base de las observaciones obtenidas de pruebas tales como pruebas en túnel de viento, mediciones acústicas en campo, etc. En una realización de este tipo, la línea de montaje de un elemento de peine de dosel rectangular está dispuesta efectivamente a una distancia contra el viento del borde de salida.

Preferentemente, los dientes de peine de un elemento de peine rectangular se originan a lo largo de una línea de montaje esencialmente recta que corre paralela al borde de salida de la pala de rotor. De manera similar, los dientes de peine de un elemento de peine rectangular de este tipo terminan preferentemente a lo largo de una línea de terminación que es esencialmente paralela a la línea de montaje.

Cuando se usan elementos de peine rectangulares, la estructura aerodinámica inventiva comprende preferentemente al menos dos elementos de peine rectangulares montados en una superficie de plano aerodinámico de la pala de rotor de tal manera que los dientes de peine de un primer elemento de peine rectangular están desplazados con respecto a los dientes de peine de un segundo elemento de peine rectangular. Por ejemplo, los dientes de peine de un elemento de peine rectangular pueden alinearse con los espacios entre los dientes de peine del elemento de peine rectangular adyacente.

Cuando se usan elementos de peine angulares, los dientes de peine de un elemento de peine angular se originan a lo largo de una línea de montaje que describe un contorno de diente de sierra a lo largo del borde de salida de la pala de rotor. Si la pala de rotor está equipada con un conjunto de borde de salida de borde dentado, el contorno de diente de sierra sigue preferentemente el contorno del borde de salida de borde dentado. Los elementos de peine angulares pueden montarse en la superficie de plano aerodinámico de la pala de rotor y/o en los bordes dentados de un conjunto de borde de salida de borde dentado. Por ejemplo, puede montarse una fila de elementos de peine angulares en una superficie de superficie de plano aerodinámico de tal manera que las puntas de los dientes de peine terminen sobre la superficie de plano aerodinámico, es decir, no se extienden más allá del borde de salida. Como alternativa, puede montarse una fila de elementos de peine angulares en la pala de rotor de tal manera que las puntas de algunos o todos los dientes de peine se extiendan más allá del borde de salida. En una realización de este tipo, los elementos de peine angulares pueden montarse total o parcialmente en bordes dentados de un conjunto de borde de salida, y las líneas terminales de los elementos de peine angulares siguen la forma de diente de sierra de los bordes dentados.

Como se ha descrito anteriormente, el plano de peine de un elemento de peine de dosel contiene las líneas de terminación y montaje paralelas, y el plano de peine está inclinado un ángulo con la superficie de montaje, preferentemente un ángulo de hasta 45°. Para mantener este ángulo de inclinación en todas las condiciones de operación, un elemento de peine de dosel comprende una serie de nervaduras de soporte dispuestas para mantener el ángulo de inclinación del plano de peine. Cada diente de peine puede soportarse por una nervadura de soporte de este tipo. Preferentemente, una nervadura de soporte está inclinada un ángulo relativamente plano de tal manera que presenta la menor resistencia posible al flujo de aire entrante.

En una realización preferida de la invención, las nervaduras de soporte de un elemento de peine de dosel rectangular montado en una primera superficie de plano aerodinámico se extienden más allá del borde de salida de la pala de rotor para formar un elemento de peine adicional que se extiende hacia fuera desde el borde de salida en el otro lado de la pala de rotor. En otras palabras, el elemento de peine del dosel está en un lado del plano de cuerda del plano aerodinámico, mientras que el elemento de peine adicional (que comprende las nervaduras de soporte extendidas) está en el otro lado del plano de cuerda.

Este concepto puede llevarse más allá cuando los elementos de peine de dosel rectangulares están dispuestos a ambos lados del plano aerodinámico en una disposición espejada, es decir, un elemento de peine de dosel rectangular en el lado de aspiración y un elemento de peine de dosel rectangular idéntico en el lado de presión. Por ejemplo, en una realización preferida de la invención, se monta un elemento de peine de dosel rectangular en el lado de aspiración de tal manera que sus nervaduras de soporte se extiendan más allá del borde de salida hacia el espacio "debajo" del plano de cuerda, y se monta un elemento de peine de dosel rectangular en el lado de presión de tal manera que sus nervaduras de soporte se extiendan más allá del borde de salida hacia el espacio "encima" del plano de cuerda.

En una realización de este tipo, pueden montarse unos elementos de peine físicamente separados en el borde de salida, con un primer elemento de peine de dosel en el lado de aspiración y un segundo elemento de peine de dosel en el lado de presión, dispuestos en un desplazamiento de tal manera que las nervaduras de soporte de un elemento de peine de dosel se extienden entre las nervaduras de soporte del otro elemento de peine de dosel.

Como alternativa, las nervaduras de soporte de tales elementos de peine de dosel pueden unirse en su punto de intersección en el borde de salida de la pala de rotor. Esto puede lograrse mediante un proceso de moldeo por inyección adecuado para fabricar los elementos de peine de dosel "espejados", o fusionando o uniendo las nervaduras de soporte de los elementos de peine separados en los nodos o puntos apropiados.

Como se ha mencionado en la introducción, una pala de rotor de turbina eólica puede equiparse con bordes dentados a lo largo de una parte de su borde de salida con el fin de reducir el ruido aerodinámico. Un conjunto de borde de salida de borde dentado de este tipo puede aumentarse mediante unos elementos de peine en plano dispuestos entre los bordes dentados. Un elemento de peine en el plano de este tipo se encuentra en el mismo plano que los bordes dentados de borde de salida, es decir, en el mismo plano que el flujo de aire sobre la pala de rotor.

Otros objetos y características de la presente invención resultarán evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas consideradas junto con los dibujos adjuntos. Se ha de entender, sin embargo, que los dibujos están diseñados únicamente con fines ilustrativos y no como una definición de los límites de la invención.

Las figuras 1 - 4 muestran diversas realizaciones de la estructura aerodinámica inventiva;
La figura 5 muestra una vista en detalle de un elemento de peine angular en una realización de la estructura aerodinámica inventiva;
La figura 6 muestra una vista detallada de otro elemento de peine angular en una realización de la estructura aerodinámica inventiva;
La figura 7 muestra una sección transversal a través de otra realización de la estructura aerodinámica inventiva;
La figura 8 muestra una sección transversal a través de una realización adicional de la estructura aerodinámica inventiva;
La figura 9 muestra una pala de rotor de una turbina eólica;
La figura 10 ilustra el desarrollo de turbulencias sobre una pala de rotor.

En los diagramas, los números similares se refieren a objetos similares en todas partes. Los objetos de los diagramas no están necesariamente dibujados a escala.

La figura 1 muestra una realización de la estructura aerodinámica inventiva 1, unida al lado de aspiración 20S de una pala de rotor de turbina eólica 2. El diagrama indica una sección transversal a través de un plano aerodinámico 20 en una región exterior de la pala 2. En esta realización a modo de ejemplo, la estructura aerodinámica 1 comprende dos elementos de peine de dosel rectangulares 10R dispuestos en unos medios de montaje 11R de tal manera que los elementos de peine rectangulares 10 actúan juntos como un dosel para empujar la capa límite hacia fuera de la superficie de plano aerodinámico 20S como se indica por las flechas cortas. Cada elemento de peine de dosel 10R subtiende un ángulo α relativamente oblicuo con la superficie de plano aerodinámico 20S, y este ángulo preferentemente no supera los 45°. Los diferentes elementos de peine de dosel 10R pueden subtender diferentes ángulos con la superficie de plano aerodinámico 20S, en función de su posición en el plano aerodinámico 20. Para garantizar que se mantenga el ángulo α entre el plano de peine 10P y la superficie de plano aerodinámico 20S, cada diente o fibra de peine puede estar soportado por una nervadura de soporte 101 que también subtiende un ángulo oblicuo con la superficie de plano aerodinámico 20S. Existen numerosas formas de realizar y montar un elemento de peine de dosel 10R. Por ejemplo, un elemento de peine de dosel 10R puede fundirse como una pieza con una placa de montaje 11R, que puede unirse a una región adecuada de la superficie de pala de rotor.

La figura 2 muestra una realización adicional, en este caso, los dos elementos de peine de dosel rectangulares 10R de la figura 1 se aumentan con otro elemento de peine de dosel 10V montado para extenderse en un conjunto de borde de salida 3 que está unido al borde de salida TE de la pala de rotor 2.

La figura 3 muestra una vista en planta de una realización de la estructura aerodinámica inventiva 1, similar a la de la figura 1. El diagrama muestra dos elementos de peine de dosel rectangulares 10R, comprendiendo cada uno de los mismos una agrupación de fibras de peine 100 dispuestas en paralelo para formar una forma rectangular general. Las fibras de peine 100 de un elemento de peine de dosel 10R se originan a lo largo de una línea de montaje 10MR y terminan en la línea de terminación 10TR. En este caso, las líneas de montaje 10MR y las líneas de terminación 10TR son esencialmente paralelas al borde de salida TE de la pala 2. El diagrama también indica que los elementos de peine de dosel rectangulares 10R están montados en la superficie de la pala de tal manera que las fibras de peine 100 de un elemento de peine de dosel 10R están desplazadas de las fibras 100 del otro elemento de peine de dosel 10R. Esto puede mejorar la separación a lo largo de un tramo de las turbulencias sobre la superficie de plano aerodinámico. En esta realización a modo de ejemplo, los elementos de peine de dosel rectangulares 10R son esencialmente idénticos, pero desplazados una distancia Δ_{10R} correspondiente a la mitad de la distancia entre las fibras de peine. En una realización alternativa, los elementos de peine de dosel 10R pueden ser diferentes, con las fibras de peine de un elemento de peine de dosel 10R más juntas que las fibras de peine del otro elemento de peine de dosel 10R.

La figura 4 muestra una vista en planta de otra realización de la estructura aerodinámica inventiva 1, similar a la de la figura 2. El diagrama muestra un elemento de peine de dosel rectangular 10R del tipo descrito en la figura 3. La pala de rotor 2 también tiene un conjunto de borde de salida borde dentado 3, es decir, se dispone de una serie de bordes dentados 30 a lo largo del borde de salida TE para reducir el ruido aerodinámico que surge del paso de los vórtices que pasan por el borde de salida de la pala de rotor a medida que pasa por el aire. En esta realización, un elemento de peine de dosel angular 10V está montado para extenderse sobre los bordes dentados 30 del conjunto de borde de salida 3. La línea de montaje 10MV y la línea de terminación 10TV de las fibras de peine 100 del elemento de peine de dosel angular 10V siguen el contorno de diente de sierra de los bordes dentados 30.

La figura 5 muestra otra vista de un elemento de peine de dosel angular 10V, que indica cómo podría montarse con respecto a un borde dentado 30 de un conjunto de borde de salida. La línea de montaje 10MV y la línea de terminación 10TV tienen ambas forma de V, de tal manera que la forma del elemento de peine 10V sigue la forma de un borde dentado 30 en el borde de salida TE de la pala de rotor 2. El elemento de peine de dosel angular 10V está montado simétricamente alrededor de una línea central 30C de un borde dentado 30. Si bien el diagrama solo muestra uno de estos elementos de peine de dosel angular 10V, se entenderá que una serie de tales elementos de peine de dosel angular 10V pueden montarse a lo largo del borde de salida TE de la pala 2, y pueden combinarse con uno o más elementos de peine de dosel rectangulares 10R como se ha descrito anteriormente.

En la figura 6, la línea de montaje 10MV y la línea de terminación 10TV de un elemento de peine de dosel angular 10V son curvas, de tal manera que la forma del elemento de peine angular 10V sigue una curva en el espacio. El dibujo muestra un conjunto de borde de salida montado en el borde de salida TE de la pala 2, y que comprende una serie de bordes dentados 30 con elementos de peine en plano 31. En este caso, la línea de terminación 10TV del elemento de peine de dosel 10V se encuentra esencialmente por encima del borde de salida TE de la pala de rotor 2, coincidiendo su altura máxima con la línea central 30C de un borde dentado 30, y coincidiendo su altura mínima con un vértice interior en la unión de dos bordes dentados 30. En una realización de este tipo, la turbulencia alrededor de la línea central de borde dentado 30C se difunde por el elemento de peine de dosel angular 10V corriente arriba. En este caso también, mientras que el diagrama solo muestra uno de estos elementos de peine de dosel angular 10V, se entenderá que una serie de tales elementos de peine de dosel angular 10V pueden montarse a lo largo del borde de salida TE de la pala 2, y pueden combinarse con uno o más elementos de peine de dosel rectangulares 10R como se ha descrito anteriormente. Los elementos de peine en plano 31 entre los bordes dentados vecinos 30 tienen el efecto de reducir aún más el ruido de borde de salida. los bordes dentados 30 y los elementos de peine en el plano 11 pueden fundirse o moldearse por inyección como una pieza con una placa de montaje para unirse a lo largo del borde de salida TE de la superficie de pala de rotor, por ejemplo, en el lado de presión.

La figura 7 muestra una realización adicional de la estructura aerodinámica inventiva 1. Se muestra una sección transversal a través de la parte de plano aerodinámico de una pala de rotor 2 y el diagrama muestra la región cerca del borde de salida TE. En esta realización, un primer elemento de peine de dosel rectangular 10R está montado en el lado de aspiración 20S, y un segundo elemento de peine de dosel rectangular 10R está montado en el lado de presión 20P. Las nervaduras de soporte 101 de las fibras de peine 100 se extienden desde un punto a lo largo de la fibra de peine 100 hasta el borde de salida TE, donde están ancladas. En lugar de terminar en el borde de salida TE, las nervaduras de soporte 101 se extienden más allá del borde de salida TE para crear un elemento de peine de dosel adicional 10R' más allá del borde de salida TE, denominado en el presente documento "elemento de peine de dosel de borde de salida" 10R'.

La figura 8 muestra una estructura similar. De nuevo, se muestra una sección transversal a través de la parte de plano aerodinámico de una pala de rotor 2 y el diagrama muestra la región cerca del borde de salida TE. En esta realización, la línea de montaje de un elemento de peine de dosel angular 10V coincide con el borde de salida TE, y el elemento

de peine de dosel angular 10V está inclinado un ángulo con el plano de un borde dentado 30 y el elemento de peine en plano 31. En esta realización, una nervadura de soporte 101 de una fibra de peine 100 se extiende desde un punto a lo largo de la fibra de peine 100 o hasta la punta de un borde dentado 30 o hasta el extremo exterior de una fibra de un elemento de peine de borde dentado 31.

5 La figura 9 muestra una pala de rotor 2 de una turbina eólica. El diagrama muestra el borde de ataque LE, el borde de salida TE y el lado de aspiración 20S. En la técnica anterior, se conoce cómo unir un componente de borde dentado 3 a lo largo de una longitud de montaje L del borde de salida TE. En las realizaciones de la estructura aerodinámica inventiva 1 descritas anteriormente, se supondrá que cualquier elemento de peine de dosel como se describe en las
10 figuras 1 a 8 anteriores está unido a una superficie de montaje de la pala de rotor 2 sobre una longitud de montaje similar L.

La figura 10 ilustra el desarrollo de la turbulencia cuando una pala de rotor 2 se mueve en una dirección de rotación R. El diagrama muestra un flujo de aire inicialmente laminar F_{20S} en la capa límite sobre el lado de aspiración 20S de la pala de rotor 2, y un flujo de aire inicialmente laminar F_{20P} en la capa límite sobre el lado de presión 20P de la pala de rotor 2. La capa límite, en general, no puede permanecer estable y la turbulencia T_U surge corriente arriba del borde de salida TE (potencialmente también en el lado de presión 20P). Se desarrolla una turbulencia adicional T_{TE} en el
15 borde de salida TE. El ruido acústico se genera principalmente por el paso de los vórtices T_{TE} más allá del borde de fuga. La estructura aerodinámica inventiva 1 actúa para empujar la capa límite hacia fuera desde la superficie de plano aerodinámico y también para suavizar el flujo de aire sobre la superficie de plano aerodinámico, reduciendo la severidad de la turbulencia cerca del borde de salida. Debido a que esto da como resultado unos vórtices más
20 pequeños en la turbulencia de borde de salida y, en general, menos turbulencia, la estructura aerodinámica inventiva 1 puede reducir significativamente el ruido de borde de salida.

Aunque la presente invención se ha desvelado en la forma de unas realizaciones preferidas y variaciones de las mismas, se entenderá que el alcance de la protección buscada está determinado por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura aerodinámica (1) para montar en una superficie (20S, 20P, 30) de una pala de rotor de turbina eólica (2), comprendiendo la estructura aerodinámica (1) una pluralidad de elementos de peine rectangulares (10R) y/o una pluralidad de elementos de peine angulares (10V), en la que un elemento de peine (10R, 10V) comprende unos dientes de peine (100) dispuestos en un plano de peine (10P) que subtiende un ángulo con la superficie (20S, 20P, 30) de la pala de rotor (2) cuando está en uso, en la que el plano de peine (10P) de un elemento de peine (10R, 10V) está inclinado un ángulo (α) de hasta 45° con respecto a la superficie (20S, 20P, 30) de la pala de rotor (2) cuando está en uso, y en la que un elemento de peine (10R, 10V) comprende una serie de nervaduras de soporte (101) dispuestas para mantener el ángulo de inclinación (α) del plano de peine (10P).
2. Una estructura aerodinámica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que un elemento de peine (10R, 10V) está dispuesto en unos medios de montaje (11R, 11V), realizándose los medios de montaje (11R, 11V) para montar el elemento de peine (10R, 10V) en una superficie de montaje (20S, 20P, 30) de la pala de rotor (2) cuando está en uso.
3. Una estructura aerodinámica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos dos elementos de peine rectangulares (10R) montados sobre una superficie de plano aerodinámico (20S, 20P) de la pala de rotor (2) cuando está en uso, de tal manera que los dientes de peine (100) de un primer elemento de peine rectangular (10R) están desplazados con respecto a los dientes de peine (100) de un segundo elemento de peine rectangular (10R).
4. Una estructura aerodinámica de acuerdo con la reivindicación 3, en la que los dientes de peine (100) de un elemento de peine rectangular (10R) se originan a lo largo de una línea de montaje (10MR) que se extiende en una dirección que es esencialmente paralela al borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso.
5. Una estructura aerodinámica de acuerdo con la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en la que los dientes de peine (100) de un elemento de peine rectangular (10R) terminan a lo largo de una línea de terminación (TR), extendiéndose la línea de terminación (10TR) en una dirección que es esencialmente paralela al borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso.
6. Una estructura aerodinámica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los dientes de peine (100) de un elemento de peine angular (10V) se originan a lo largo de una línea de montaje (10MV) que describe un contorno de diente de sierra (10MV) a lo largo del borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso.
7. Una estructura aerodinámica de acuerdo con la reivindicación 6, en la que los dientes de peine (100) de un elemento de peine angular (10V) se extienden sobre un borde dentado (30) de un conjunto de borde de salida (3) montado a lo largo del borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso.
8. Una estructura aerodinámica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las nervaduras de soporte (101) de un elemento de peine (10R) montado en una primera superficie de plano aerodinámico (20S) se extienden más allá del borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso, para formar un elemento de peine adicional (10R').
9. Una estructura aerodinámica de acuerdo con la reivindicación 8, en la que las nervaduras de soporte (101) de un elemento de peine (10R) montado en la superficie de plano aerodinámico opuesta (20P) también se extienden más allá del borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso, para formar un elemento de peine adicional (10R').
10. Una estructura aerodinámica de acuerdo con la reivindicación 9, en la que las nervaduras de soporte (101) de los elementos de peine (10R) se unen en un punto correspondiente al borde de salida (TE) de la pala de rotor (2) cuando está en uso.
11. Una pala de rotor de turbina eólica (2) que comprende una estructura aerodinámica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 montada en una superficie (20S, 20P, 30) de la pala de rotor (2).
12. Una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que una superficie de montaje es cualquiera de: el lado de aspiración (20S) de la pala de rotor (2), el lado de presión (20P) de la pala de rotor (2), un borde dentado (30) de un conjunto de borde de salida (3) de la pala de rotor (2).
13. Una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11 o la reivindicación 12, que comprende una serie de elementos de peine en plano (31) montados entre los bordes dentados (30) de un conjunto de borde de salida (3) de la pala de rotor (2).

FIG 1

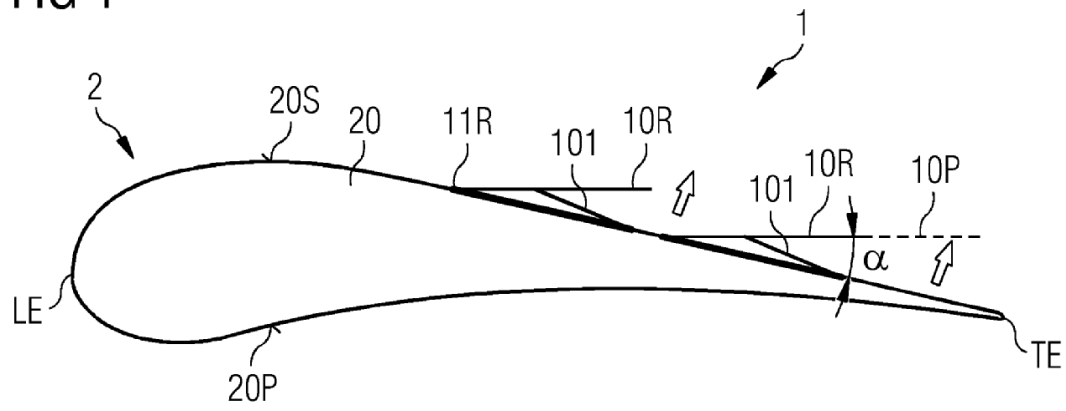


FIG 2

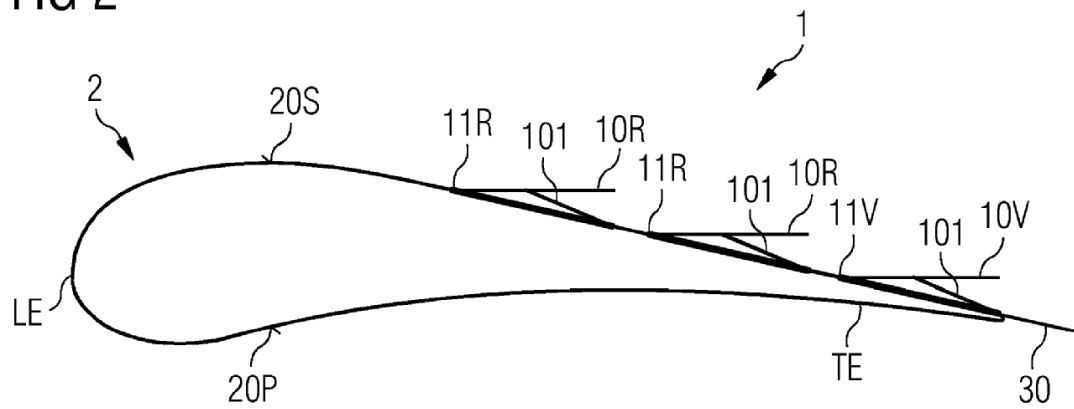


FIG 3

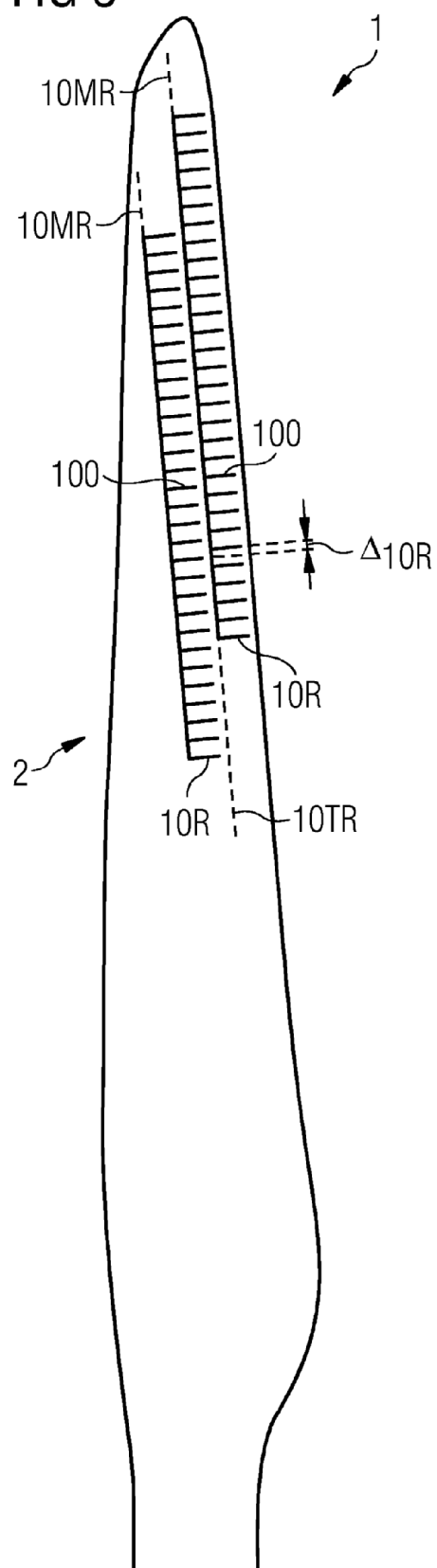


FIG 4

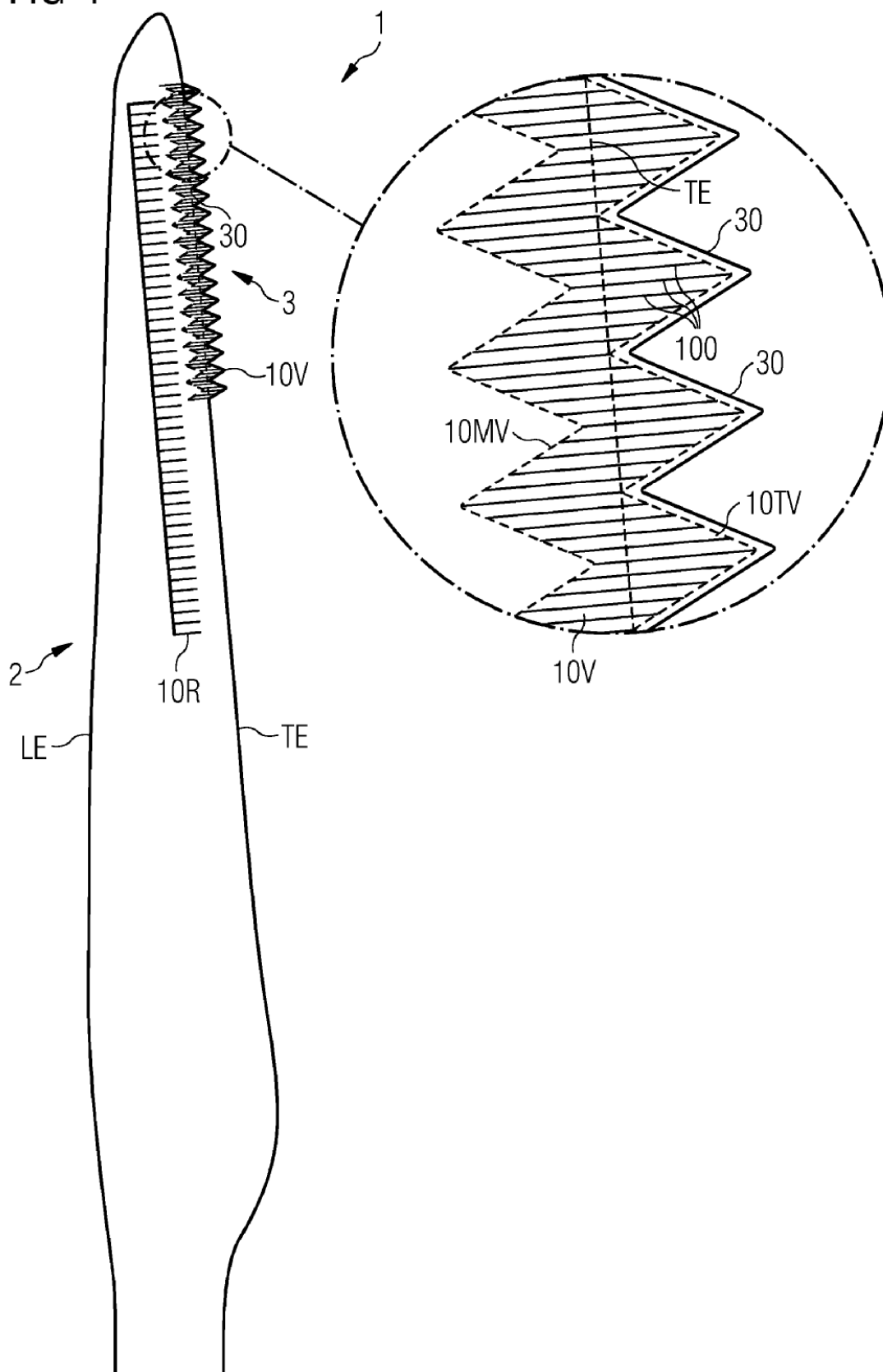


FIG 5

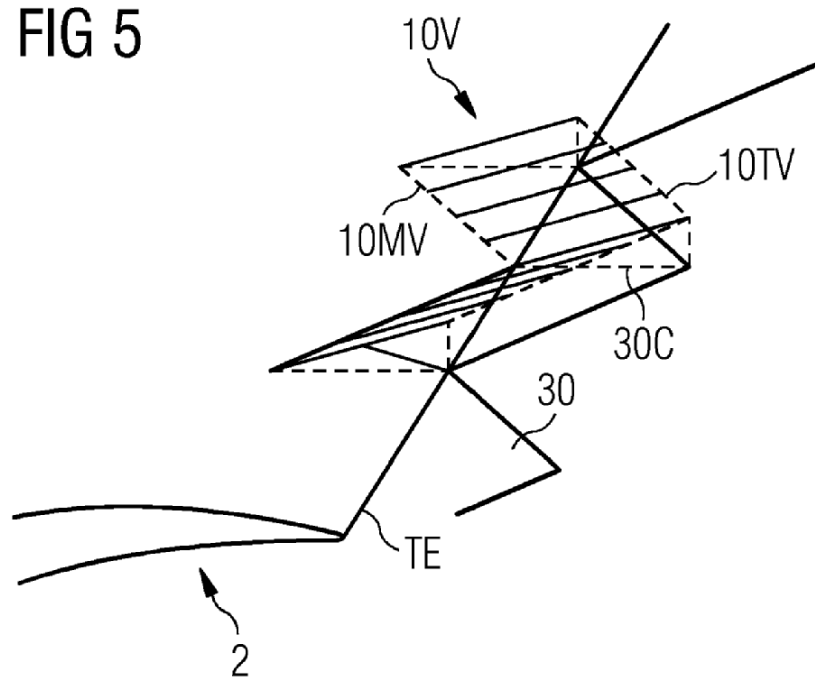


FIG 6

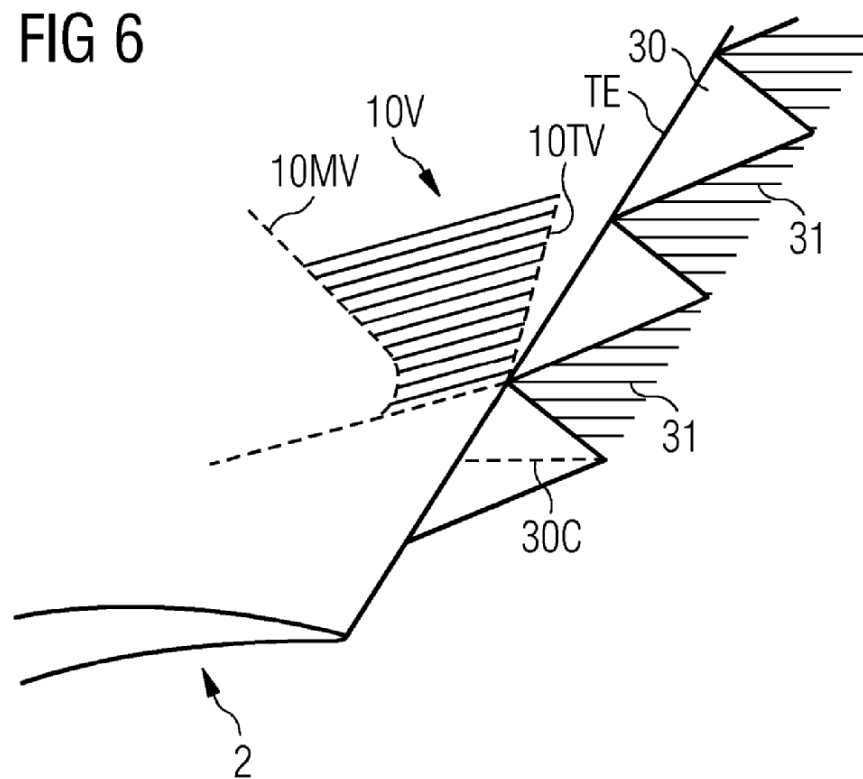


FIG 7

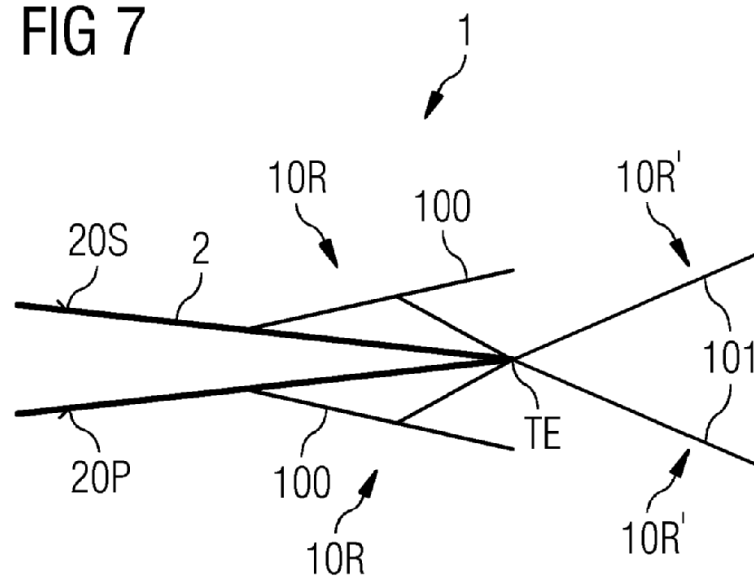


FIG 8

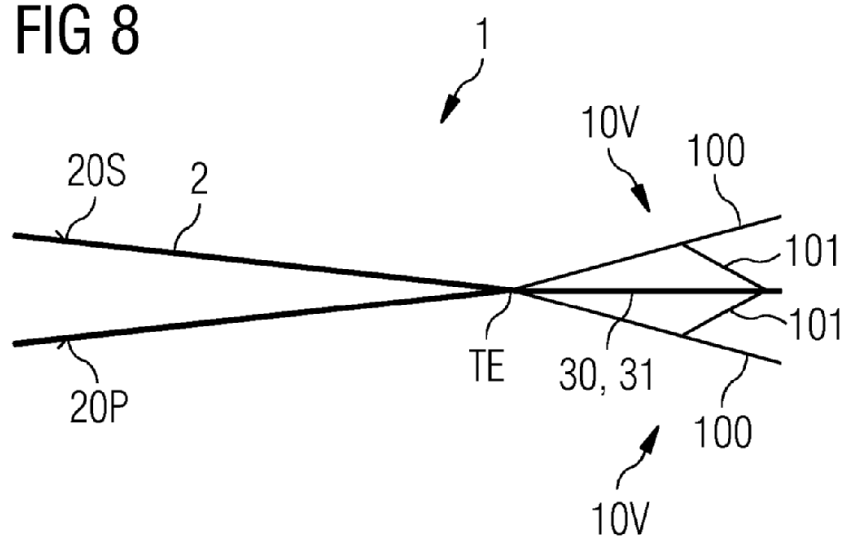


FIG 9 TÉCNICA ANTERIOR

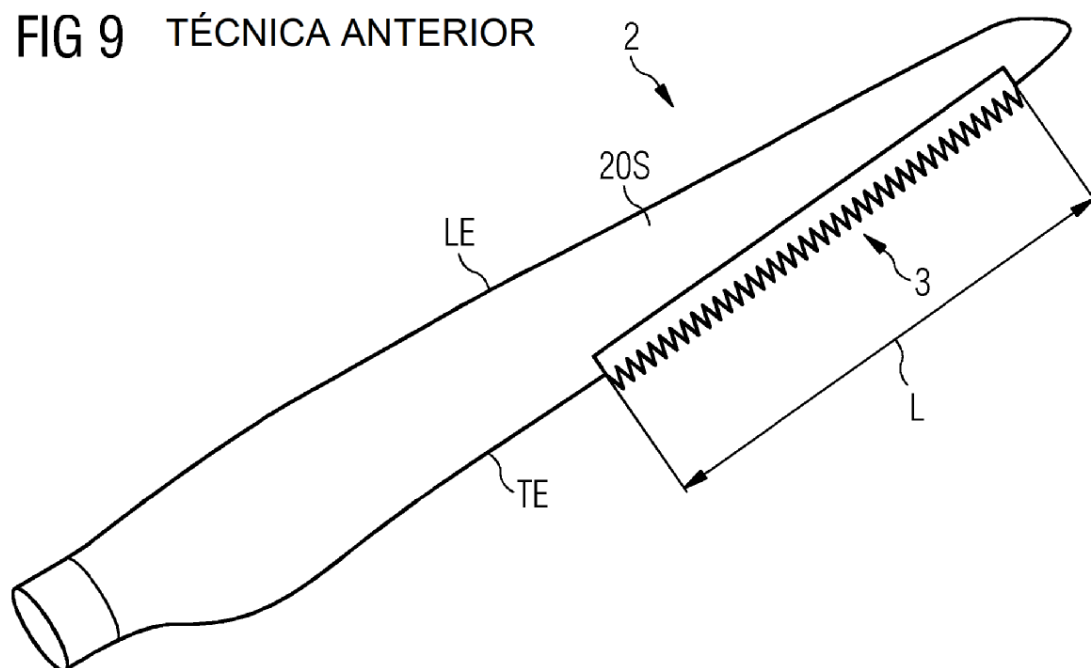


FIG 10

