

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 896**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

G01S 13/52 (2006.01)

H01Q 15/16 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 80/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2011 E 11009519 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2461023**

54 Título: **Pala de rotor para un aerogenerador, así como combinación de una estación de radar y de un aerogenerador**

30 Prioridad:

03.12.2010 DE 102010053369

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

18.06.2018

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH (100.0%)
Willy-Messerschmitt-Straße 1
85521 Ottobrunn, DE**

72 Inventor/es:

BETTERMANN, JOACHIM

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 672 896 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

Pala de rotor para un aerogenerador, así como combinación de una estación de radar y de un aerogenerador

5 La presente invención se refiere a una pala de rotor para un aerogenerador que comprende una estructura de cubierta de un material compuesto de fibras plano que configura la superficie de pala de rotor. La invención se refiere además a una combinación de una estación de radar y de un aerogenerador dispuesto en la zona de recepción de la estación de radar.

Los aerogeneradores comprenden una estructura de rotor apoyada con posibilidad de giro y formada normalmente por un eje de rotor apoyado con posibilidad de giro, por un cubo de rotor en un extremo del eje de rotor y por una o varias palas de rotor (alas de rotor) que se separan del cubo de rotor en dirección radial.

10 En un tipo de instalación muy extendido, el eje de rotor se apoya, con posibilidad de giro alrededor de un eje horizontal, en una carcasa de máquina ("góndola") que a su vez se dispone, con posibilidad de giro alrededor de un eje vertical, en una torre que sobresale verticalmente.

Si los sistemas de radar emiten ondas electromagnéticas, los aerogeneradores de este tipo generan reflexiones de radar en la torre, en la carcasa de máquina y en la estructura de rotor, especialmente en las palas del rotor.

15 Si bien la supresión de objetivos fijos prevista en muchos sistemas de radar permite eliminar eficazmente las reflexiones de radar predominantemente constantes en la torre y en la carcasa de máquina durante la evaluación de la radiación de radar reflejada, las palas de rotor representan un alto potencial de interferencia para el funcionamiento de los sistemas de radar con detección de objetivos móviles debido a su giro y al desplazamiento Doppler asociado al mismo de la radiación de radar reflejada en ellas.

20 La medida de retroreflexión de la radiación de radar en la estructura de rotor o sus palas de rotor, así como el desplazamiento Doppler de la reflexión de radar dependen de la dirección de incidencia de la radiación de radar y de la posición de giro o de la velocidad de giro de la estructura de rotor. En un sistema de radar con detección de objetivos en movimiento, que evalúa los desplazamientos Doppler de este tipo, esto puede dar lugar de forma no deseada a que las piezas correspondientes de la estructura de rotor, por ejemplo, las palas de rotor, se malinterpreten como "objetos voladores". Si, de este modo, los aerogeneradores se representan en la pantalla de radar del sistema de radar como un objetivo adicional, cabe la posibilidad de que este hecho dificulte considerablemente la identificación de los objetivos deseados. Estos objetivos pueden ser aviones en un radar de vigilancia aérea, nubes de lluvia en un radar meteorológico o también barcos en un radar de navegación marítima.

30 En caso de una explotación de varios aerogeneradores agrupados en el espacio en un "parque eólico", los objetivos de interferencia causados por los distintos aerogeneradores se producen en un área mayor que, en muchos casos, abarca varios kilómetros cuadrados y en la que a menudo ya no es posible identificar y seguir de forma inequívoca los objetivos deseados.

Por el estado de la técnica se conocen palas de rotor que se caracterizan por estructuras de absorción de radar o de reflexión de radar (véanse, por ejemplo, los documentos WO 2009/140949; WO 2010/122352; US 2923934).

35 Una tarea de la presente invención consiste en reducir las interferencias de sistemas de radar causadas por el funcionamiento de un aerogenerador o de un parque eólico.

Esta tarea se resuelve mediante la pala de rotor según la reivindicación 1.

40 El canto delantero y el canto trasero de la pala de rotor representan aquellas secciones de superficie cuyas reflexiones de radar poseen el mayor potencial de interferencia para el funcionamiento de los sistemas de radar con respecto al efecto Doppler.

Por consiguiente, la configuración según la invención del material compuesto de fibras garantiza una reducción considerable de interferencias, al menos en estas zonas de la estructura de revestimiento de la pala de rotor, concretamente con un factor de reflexión de radar (factor de amortiguación) que presenta un mínimo de reflexión en la gama de frecuencias citada para la radiación de radar que incide perpendicularmente a la superficie.

45 La pala de rotor según la invención puede poseer una estructura básica similar a la de las palas de rotor conocidas por el estado de la técnica, en concreto, por ejemplo, puede estar compuesta de dos semiconchas fabricadas respectivamente de un material compuesto de fibra macizo (por ejemplo, laminado GFK de varias capas) y pegadas entre sí por los cantos delantero y trasero de la pala de rotor.

50 Por consiguiente, según una forma de realización de la invención se prevé que la pala de rotor esté formada por varias conchas de revestimiento unidas entre sí, especialmente adheridas entre sí.

Por ejemplo, pueden preverse dos semiconchas unidas entre sí por los cantos delantero y trasero de la pala de rotor.

55 En el caso de la invención, sin embargo, al seleccionar de forma concreta el material y las condiciones geométricas (por ejemplo, grosor de material o grosor de capa para material de varias capas) se procura que resulte el mínimo de reflexión citado.

En el caso de un material compuesto de fibra macizo se puede expresar una regla de dimensionamiento adecuada, por ejemplo, con la siguiente fórmula:

$$d_v = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}}$$

En este caso significa:

5 d_v : Grosor del material macizo

λ_0 : Longitud de onda del sistema de radar en el espacio libre

ϵ_r : Constante dieléctrica específica (parte real) del material macizo

Con el grosor d_v del material macizo resulta un mínimo de reflexión para la frecuencia $f_0 = c/\lambda_0$ del sistema de radar (siendo c = velocidad de la luz) y para múltiplos enteros del mismo, siendo los números enteros impares.

10 En el caso de una construcción tipo sándwich que comprenda al menos una capa de material de núcleo y al menos dos capas de cubrición, pueden tenerse en cuenta normas de dimensionamiento similares para conseguir el mínimo de reflexión deseado. Por ejemplo, en el caso de una estructura tipo sándwich simétrica, entendiéndose por la misma un modo de construcción que posee capas del mismo grosor y del mismo material en la parte delantera y trasera, con un material de núcleo intermedio, se puede determinar un dimensionamiento adecuado, por ejemplo, de la siguiente manera:

15 Tan pronto como, por motivos mecánicos, los materiales de las capas de cubrición y del material de núcleo, así como los grosores de los materiales de cubrición reforzados con fibras se hayan definido, el grosor del material de núcleo resulta aproximadamente de la siguiente fórmula:

$$d_k = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_k}} \left(\frac{1}{4} - \frac{d_b \sqrt{\epsilon_b}}{\lambda_0} \right)$$

20 En este caso significa:

D_k : Grosor del material de núcleo

λ_0 : Longitud de onda del sistema de radar en el espacio libre

ϵ_k : Constante dieléctrica específica (parte real) del material de núcleo

d_b : Grosor del material de capa de cubrición

25 ϵ_b : Constante dieléctrica específica (parte real) del material de capa de cubrición

En este caso, las siguientes limitaciones se tienen en cuenta con especial preferencia:

a) $\epsilon_k \leq 1,8$

es decir, la constante dieléctrica específica del material de núcleo debería estar por debajo del valor 1,8. Esto se aplica a la mayoría de las espumas, panales, etc.

30 b) $d_b \sqrt{\epsilon_b} < \frac{\lambda_0}{4}$

es decir, el grosor eléctrico del material de capa de cubrición debería ser inferior a una cuarta parte de la longitud de onda de la radiación emitida por el sistema de radar.

35 Con el grosor preestablecido y la constante dieléctrica específica del material de capa de cubrición, así como la constante dieléctrica específica preestablecida del material de núcleo resulta, por consiguiente, mediante la fórmula anterior aproximadamente un grosor de material de núcleo en el que el factor de reflexión para la frecuencia $f_0 = c/\lambda_0$ del sistema de radar (siendo c = velocidad de la luz) es mínimo.

40 Partiendo de este valor inicial, se puede realizar además, con la ayuda de una simulación por ordenador, un "ajuste de precisión" del grosor de la capa de núcleo, de manera que el mínimo de reflexión se ajuste con precisión a la frecuencia del sistema de radar.

45 De forma similar a la que se ya se conoce por el estado de la técnica, la estabilidad de la pala de rotor según la invención también se puede mejorar mediante al menos un alma dispuesta en el espacio interior de la estructura de revestimiento y que estabiliza la estructura de revestimiento. Una o varias de estas almas pueden estar formadas, por ejemplo, por un material compuesto de fibras plano que preferiblemente también se configura para crear un factor de reflexión de radar dependiente de la frecuencia para la radiación de radar que incide perpendicularmente a la superficie con un mínimo de reflexión en una frecuencia determinada del orden de 1 GHz a 10 GHz.

La frecuencia de la radiación de radar puede ser idéntica o al menos fundamentalmente idéntica (por ejemplo, una diferencia menor del 10%) a la frecuencia para la que el material compuesto de fibras en los cantos delantero y trasero de la pala de rotor (y, en su caso, del alma o de las almas) posee el mínimo de reflexión mencionado.

5 En una forma de realización se prevé que el material compuesto de fibras previsto para proporcionar el mínimo de reflexión se configure como un material compuesto de fibras macizo. Alternativamente, este material compuesto de fibras se puede configurar como una construcción tipo sándwich que comprende varias capas de material compuesto de fibras (de igual o distinto tipo). Especialmente se puede utilizar, por ejemplo, una estructura tipo sándwich simétrica.

10 Un material compuesto de fibras macizo se puede configurar, por ejemplo, como un laminado que comprende varias capas de material de fibra idénticas (por ejemplo, tejidos, mallas, cañamazos, etc.). Una simple construcción tipo sándwich prevé una capa de núcleo, por ejemplo, de plástico celular, especialmente de espuma rígida, o de madera, especialmente de madera ligera, o una estructura de nido de abejas u ondulada (por ejemplo, de un papel impregnado de resina o, por ejemplo, de un material GFK (por ejemplo, que contenga un tejido de fibra de vidrio)), y capas de cubrición dispuestas a ambos lados y formadas por capas de un material compuesto de fibras del mismo tipo o de un tipo diferente (por ejemplo, GFK, etc.).

15 El material compuesto de fibras utilizado para proporcionar el mínimo de reflexión citado en los cantos delantero y trasero de la pala de rotor posee con especial preferencia una conductividad eléctrica reducida, ya sea en general (a lo largo de todo el grosor de la estructura de revestimiento) o al menos en una zona cercana a la superficie que, por lo tanto, configura la superficie en los cantos delantero y trasero. Una construcción de este tipo reduce la reflexión de la energía de radar incidente. En un caso ideal, la mayor parte de la energía de radar se conduce a través de la estructura de revestimiento de la pala de rotor. De este modo, la pala de rotor se vuelve más o menos transparente para una gran parte de la energía de radar incidente, de manera que en general sólo se reflejan porcentajes de energía relativamente pequeños desde la pala de rotor al sistema de radar, lo que reduce aún más las interferencias del funcionamiento del radar.

20 A este respecto, para la configuración de la estructura de revestimiento al menos en los cantos delantero y trasero de la pala de rotor y/o para la configuración del o de las almas estabilizadoras en su caso previstas, los materiales compuestos de fibras preferidos son aquellos que tienen una conductividad eléctrica deficiente (por ejemplo, materiales con un factor de pérdida eléctrica " $\tan\delta$ " inferior a 0,01) o que deben considerarse como no conductores eléctricos (por ejemplo, materiales con un factor de pérdida eléctrica " $\tan\delta$ " inferior a 0,001).

25 Para la configuración de materiales compuestos de fibras eléctricamente no conductores se puede utilizar un material de fibra que se compone de fibras eléctricamente no conductoras como, por ejemplo, fibras de vidrio, fibras de aramida, fibras de polietileno, etc., en combinación con una matriz eléctricamente no conductora como, por ejemplo, resina epoxi, resina de poliéster, etc.

30 En una construcción tipo sándwich, es decir, con tres o más capas de material, las distintas capas también se pueden formar, por ejemplo, a partir de las espumas rígidas antes mencionadas.

35 Para la obtención del mínimo de reflexión citado resulta adecuado, por una parte, que la "primera capa" del material compuesto de fibras plano, que la radiación de radar incidente alcanza directamente, esté formada por un material compuesto de fibras que sea un mal conductor de electricidad o que no conduzca la electricidad. En este sentido, debido a su conductividad eléctrica relativamente alta, el GFK resulta aquí más bien inapropiado y en su lugar resulta preferible, por ejemplo, el GFK. Por otra parte, en el marco de la invención la "geometría" del material compuesto de fibras plano utilizado para la configuración de los cantos delantero y trasero de la pala de rotor (o del o de las almas) también tiene, sin embargo, una gran importancia.

40 Tanto si este material compuesto de fibras se configura como un material compuesto de fibras macizo, como también si este material compuesto de fibras se configura como una construcción tipo sándwich que comprende varias capas de material compuesto de fibras, siempre resultan varias superficies límite entre las capas de material directamente adyacentes visto en la dirección de la radiación de radar o entre una capa de material como ésta y el aire (en la cara exterior o en la cara interior de la estructura de revestimiento de la pala de rotor). Mediante una elección adecuada de las distancias mutuas de estas superficies límite vistas en la dirección de la radiación de radar, en combinación con las constantes dieléctricas de los materiales (o aire) que se encuentran respectivamente a ambos lados de estas superficies límite, el mínimo de reflexión previsto según la invención se puede alcanzar fácilmente por el hecho de que los porcentajes de radiación del radar reflejados por las distintas superficies límite interfieren fundamentalmente de forma destructiva.

45 Las combinaciones de material o las disposiciones de material adecuadas para ello se pueden determinar, por ejemplo, teniendo en cuenta las "normas de dimensionamiento" ya explicadas anteriormente. Los valores antes indicados a modo de fórmula para el grosor de un material macizo (d_v) o para el grosor del material de núcleo (d_k) en una estructura tipo sándwich simétrica se prevén preferiblemente de forma al menos aproximada, por ejemplo, con una diferencia entre el grosor real y el grosor preestablecido por medio de la fórmula en cuestión inferior al 10%, especialmente inferior al 5% de la longitud de onda de la radiación de radar resultante en el material en cuestión (material compuesto de fibras macizo o material de núcleo).

60 También es posible llevar a cabo simulaciones por ordenador correspondientes.

Por regla general se prefieren materiales compuestos de fibras que sean malos conductores como GFK, especialmente para la configuración de la primera capa de material (en el caso de una configuración de varias capas diferentes).

5 Según la invención se prevé que el material compuesto de fibras previsto para proporcionar el mínimo de reflexión (en la "primera" superficie que la radiación de radar alcanza directamente) presente una resistividad superficial eléctrica específica de más de 10^3 ohmios/cuadrado.

En una forma de realización se prevé que el mínimo de reflexión posea un valor inferior a -20 dB, especialmente inferior a -25 dB.

10 Especialmente en caso de aprovechar el efecto de una interferencia destructiva de los porcentajes de radiación de radar reflejados por las superficies límite que la radiación de radar incidente alcanza sucesivamente en la dirección de la radiación de radar, pueden preverse ventajosamente unos mínimos de reflexión de banda relativamente estrecha. Esto, por ejemplo, con una semianchura inferior a 0,5 GHz, en especial inferior a 0,25 GHz.

15 Se entiende que la posición del mínimo de reflexión previsto según la invención debe adaptarse con la mayor precisión posible a la frecuencia de la radiación de radar a esperar en el uso de la pala de rotor. Si la frecuencia del mínimo de reflexión difiere significativamente de esta frecuencia de radar, la frecuencia de radar se encuentra, no obstante, preferiblemente dentro de la semianchura del mínimo de reflexión.

20 En una forma de realización se prevé que el factor de reflexión dependiente de la frecuencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a 10 GHz posea exactamente un mínimo. Alternativamente, en esta gama de frecuencias también puede preverse, sin embargo, más de un mínimo del factor de reflexión, en especial, por ejemplo, exactamente dos mínimos. En este último caso, la posición de los dos mínimos puede adaptarse, por ejemplo, a dos frecuencias de radar diferentes de dos sistemas de radar distintos (por ejemplo, un radar de vigilancia aérea y un radar meteorológico).

25 Según otro aspecto de la invención se pone a disposición una combinación (al menos) de una estación de radar y de un aerogenerador dispuesto en la zona de recepción de la estación de radar, configurándose las palas de rotor del aerogenerador respectivamente como una pala de rotor según una de las reivindicaciones 1-3, correspondiendo la frecuencia del mínimo de reflexión a la frecuencia de radar de la estación de radar.

Una eventual desviación entre la frecuencia del mínimo de reflexión y la frecuencia de radar es preferiblemente inferior a 0,5 GHz. El factor de reflexión en la frecuencia de radar es preferiblemente inferior a -15 dB, más preferiblemente inferior a -20 dB.

30 En un perfeccionamiento, la combinación comprende dos estaciones de radar con frecuencias de radar diferentes una de otra, por ejemplo, un radar de control del tráfico aéreo y un radar de navegación marítima, poseyendo el factor de reflexión de radar, dependiente de la frecuencia creado con el material compuesto de fibras, dos mínimos de reflexión del tipo explicado, cuyas frecuencias corresponden a las frecuencias de radar de las estaciones de radar. Esto, en su caso, de nuevo con desviaciones a lo sumo más bien pequeñas, como ya se ha descrito en
35 relación con el caso de una estación de radar y un mínimo de reflexión.

En el caso de cada estación de radar puede tratarse especialmente de una estación de radar con detección de objetivos en movimiento mediante la evaluación de un desplazamiento Doppler de la señal de radar reflejada.

40 Si la combinación comprende varias estaciones de radar con frecuencias de radar diferentes unas de otras, se prevé según una forma de realización que entre las frecuencias de radar exista al menos un par de frecuencias en el que una de las frecuencias de radar sea un múltiplo entero de la otra frecuencia de radar. Un ejemplo de ello es un radar de control del tráfico aéreo con una frecuencia de radar de 3 GHz en combinación con un radar de navegación marítima con una frecuencia de radar de 9 GHz.

La invención se describe a continuación más detalladamente por medio de ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos. Se representa en la:

45 Figura 1 una vista en sección de una pala de rotor para un aerogenerador,

Figura 2 una vista en sección a lo largo de la línea II-II en la figura 1,

Figura 3 una vista en sección a lo largo de la línea III-III en la figura 1,

Figura 4 una vista en sección a lo largo de la línea IV-IV en la figura 1,

50 Figura 5 el desarrollo del factor de reflexión de radar dependiente de la frecuencia para el material representado en la figura 2,

Figura 6 el desarrollo del factor de reflexión de radar dependiente de la frecuencia para el material representado en la figura 3,

Figura 7 el desarrollo del factor de reflexión de radar dependiente de la frecuencia para el material representado en la figura 4,

55 Figura 8 una vista en sección de un material según otro ejemplo de realización, y

Figura 9 el desarrollo correspondiente del factor de reflexión de radar dependiente de la frecuencia.

La figura 1 ilustra en una vista en sección la estructura de una pala de rotor 10 para un aerogenerador, comprendiendo la misma una estructura de revestimiento 12 y una estructura interior 14 que estabiliza la estructura de revestimiento 12 y que en el ejemplo de realización representado está formada por dos almas 14-1 y 14-2 que se desarrollan transversalmente con respecto a la dirección de extensión del perfil de pala de rotor.

La pala de rotor 10 posee un canto delantero 16 y un canto trasero 18.

La cara exterior de la estructura de revestimiento 12 define la superficie 20 de la pala de rotor 10 y la estructura de revestimiento 12 está formada por un material compuesto de fibras plano, utilizándose en el ejemplo de realización representado dos zonas diferentes o dos materiales compuestos de fibras distintos 12-1 y 12-2. El material 12-1 se utiliza para la configuración del canto delantero 16 y de las zonas de estructura de revestimiento adyacentes hasta aproximadamente el centro de la pala de rotor 10 representada (más allá de las almas 14-1, 14-2). El material 12-2 se prevé para la configuración de las zonas traseras de la pala de rotor 10 hasta el canto trasero 18.

Las almas 14-1, 14-2 también están formadas respectivamente por un material compuesto de fibras (idéntico) que, no obstante, se diferencia de los materiales compuestos de fibras planos 12-1 y 12-2.

Una particularidad de la pala de rotor 10 consiste en que al menos en el canto delantero 16 y en el canto trasero 18, en el ejemplo representado también en la zona de las almas 14-1, 14-2, el respectivo material compuesto de fibras 12-1 y 12-2 (y en el ejemplo representado también los materiales compuestos de fibras 14-1, 14-2) se configura para crear un factor de reflexión de radar R dependiente de la frecuencia para la radiación de radar electromagnética que incide perpendicularmente a la superficie con un mínimo de reflexión a una frecuencia determinada del orden de 1 GHz a 10 GHz.

Las figuras 2, 3 y 4 muestran los respectivos tipos de construcción de los materiales compuestos de fibras planos 12-1, 12-2 ó 14-1, 14-2.

El material compuesto de fibras 12-1 (figura 2) posee una construcción monolítica GFK, es decir, se compone de una capa de material GFK con un grosor de 12,9 mm. La constante dieléctrica del material GFK 12-1 es aproximadamente de 4,3.

El material compuesto de fibras 12-2 (figura 3) es una construcción tipo sándwich compuesta por una capa de cubrición exterior GFK 22 (grosor 1 mm, constante dieléctrica 4,3), una capa de cubrición interior GFK 24 (grosor 1 mm, constante dieléctrica 4,3), así como un núcleo de espuma rígida 26 (grosor 11,3 mm, constante dieléctrica 1,1).

El material compuesto de fibras 14-1, 14-2 (figura 4) es también una construcción tipo sándwich compuesta de una capa de cubrición exterior GFK 22' (grosor 2 mm, constante dieléctrica 4,3), de una capa de cubrición interior GFK 24' (grosor 2 mm, constante dieléctrica 4,3), así como de un núcleo de espuma rígida 26' (grosor 8,5 mm, constante dieléctrica 1,1).

En las figuras 5, 6 y 7 se representan las curvas calculadas del factor de reflexión dependientes de la frecuencia de los materiales compuestos de fibras representados en las figuras 2, 3 y 4 en caso de una incidencia de radiación vertical.

La figura 5 muestra el factor de reflexión R para el material compuesto de fibras 12-1.

La figura 6 muestra el factor de reflexión R para el material compuesto de fibras 12-2.

La figura 7 muestra el factor de reflexión R para el material compuesto de fibras 14-1, 14-2.

Se puede ver que los factores de reflexión de los tres tipos de construcción con una frecuencia de 5,6 GHz, que es normal, por ejemplo, para un radar meteorológico, ascienden a -34 dB, -55 dB o -47 dB. Por lo tanto, en los respectivos tipos de construcción sólo se refleja alrededor del 0,02 %, 0,0003 % ó 0,002 % de la energía de radar incidente.

Por el contrario, esto significa que aproximadamente el 99,98 %, 99,9997 % ó 99,998 % de la energía de radar incidente se transmite a través de los respectivos tipos de construcción. Por lo tanto, la pala de rotor 10 es en gran medida transparente para la energía de radar incidente en el rango de frecuencias correspondiente, de manera que en general las reflexiones de radar en la pala de rotor 10 se reducen considerablemente.

En el ejemplo de realización representado, las semianchuras de los mínimos de reflexión a 5,6 GHz son respectivamente inferiores a 0,5 GHz.

En la siguiente descripción de otro ejemplo de realización se utilizan para los componentes de igual acción los mismos números de referencia, complementados respectivamente con una letra "a" minúscula para distinguir la forma de realización. En este caso sólo se explican fundamentalmente las diferencias con el ejemplo de realización ya descrito, haciéndose referencia expresa, por lo demás, a la descripción del ejemplo de realización anterior.

La figura 8 ilustra otro ejemplo de un tipo de construcción adecuado para la reducción de las reflexiones de radar y muestra una vista en sección de un material compuesto de fibras plano 12a-1.

5 El material compuesto de fibras 12a-1 puede utilizarse, por ejemplo, en una pala de rotor de la figura 1 como sustituto de uno o varios de los materiales compuestos de fibras allí utilizados 12-1, 12-2 y 14-1, 14-2. En una forma de realización, el material compuesto de fibras 12a-1 representado en la figura 8 se utiliza para toda la estructura de revestimiento (y la estructura interior, en su caso, prevista) de una pala de rotor como ésta del tipo representado en la figura 1.

El material compuesto de fibras 12a-1 es una construcción tipo sándwich que se compone de una capa de cubrición exterior GFK 22a (grosor 3 mm, constante dieléctrica 4,3), de una capa de cubrición interior GFK 24a (grosor 3 mm, constante dieléctrica 4,3) y de un núcleo de nido de abeja 26' de un papel impregnado con resina (grosor 17,5 mm, constante dieléctrica 1,07).

10 Una característica especial del material compuesto de fibras 12a-1 consiste en que su factor de reflexión de radar R, dependiente de la frecuencia para la radiación de radar electromagnética que incide perpendicularmente a la superficie, posee dos mínimos de reflexión con unas frecuencias determinadas del orden de 1 GHz a 10 GHz.

15 Como se puede ver en la figura 9, estos mínimos de reflexión se encuentran en las frecuencias de 3 GHz (por ejemplo, la frecuencia de un radar de control del tráfico aéreo militar) y de 9 GHz (por ejemplo, la frecuencia de un radar de navegación marítima). En estas frecuencias se consigue una reducción considerable de las reflexiones de radar, concretamente a un 0,001% (con una frecuencia de 3 GHz) o a un 0,02% (con una frecuencia de 9 GHz).

20 Con la invención o con los ejemplos de realización descritos se puede realizar una pala de rotor para un aerogenerador en la que las reflexiones de radar se reduzcan considerablemente. En especial en caso de utilizar la pala del rotor para una serie de aerogeneradores agrupados en un parque eólico que se encuentra en el campo de detección de uno o varios sistemas de radar, es posible garantizar, por consiguiente, un funcionamiento del radar con un número considerablemente menor de interferencias. Según la invención se utiliza al menos en el canto delantero y en el canto trasero de la pala de rotor, el material compuesto de fibras de reflexión minimizada. Sin embargo, en uno de los modos de construcción descritos pueden preverse otras secciones estructurales de la pala de rotor, especialmente toda la estructura de revestimiento y una estructura interior estabilizadora, en su caso, prevista. En dependencia de la o de las frecuencias de radar a esperar durante el uso de la pala de rotor, la disposición especial y la combinación de los materiales y su dimensionamiento se pueden adaptar al grosor(es) de capa y a las constantes de material electromagnéticas.

25 A diferencia de los ejemplos de realización descritos podría preverse, por ejemplo, que las zonas de la pala de rotor sometidas a cargas mecánicas especialmente elevadas se compongan de un material compuesto de fibras, que contenga CFK en lugar del GFK descrito, o de metal (en especial, por ejemplo, de acero).

Además, por motivos de protección contra rayos, puede ser necesario prever conductores metálicos, a fin de, por ejemplo, conducir las corrientes de rayo desde la punta de pala de rotor o desde la superficie de pala de rotor en dirección a tierra (por ejemplo, a través de una carcasa de máquina y una torre).

35 Aunque en el caso de los materiales compuestos de fibras descritos, el uso de resina de epoxi como matriz resulta a menudo preferible, también pueden utilizarse otros materiales de matriz como, por ejemplo, termoplásticos.

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor (10) para un aerogenerador que comprende una estructura de revestimiento que configura la superficie de pala de rotor (20) y de un material compuesto de fibras plano (12-1, 12-2), configurándose el material compuesto de fibras (12-1, 12-2) al menos en el canto delantero (16) y en el canto trasero (18) de la pala de rotor (10) para crear un factor de reflexión de radar (R) dependiente de la frecuencia para la radiación de radar que incide perpendicularmente a la superficie con un mínimo de reflexión en una frecuencia determinada del orden de 1 GHz a 10 GHz; configurándose el material compuesto de fibras (12-1, 12-2), previsto para proporcionar el mínimo de reflexión, como un material compuesto de fibras macizo (12-1) y poseyendo el grosor (d_v) del material compuesto de fibras macizo (12-1) al menos de forma aproximada un valor de

$$d_v = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}}$$

con una eventual diferencia entre un grosor real del material compuesto de fibras macizo (12-1) y el grosor preestablecido por medio de la fórmula anterior (d_v) inferior al 10% de la longitud de onda de la radiación de radar resultante en el material compuesto de fibras macizo (12-1), siendo

d_v el grosor del material macizo (12-1),

λ_0 la longitud de onda de la radiación de radar en el espacio libre, y

ϵ_r : la constante dieléctrica específica (parte real) del material macizo;

o configurándose el material compuesto de fibras (12-1, 12-2) previsto para proporcionar el mínimo de reflexión en un modo de construcción tipo sándwich simétrico (12-2) con dos capas de material compuesto de fibras (22, 24) como capas de cubrición y con una capa de material de núcleo (26) y poseyendo el grosor (d_k) de la capa de material de núcleo (26) al menos aproximadamente un valor de

$$d_k = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_k}} \left(\frac{1}{4} - \frac{d_D \sqrt{\epsilon_D}}{\lambda_0} \right)$$

con una eventual diferencia entre un grosor real de la capa de material de núcleo (26) y el grosor (d_k) preestablecido por medio de la fórmula anterior inferior al 10% de la longitud de onda de la radiación de radar resultante en la capa de material de núcleo (26), siendo

d_k el grosor de la capa de material de núcleo (26),

λ_0 la longitud de onda de la radiación de radar en el espacio libre,

ϵ_k : la constante dieléctrica específica (parte real) del material de núcleo,

d_D el grosor de las capas de cubrición (22, 24), y

ϵ_D : la constante dieléctrica específica (parte real) del material de capa de cubrición;

y presentando el material compuesto de fibras (12-1; 22, 24, 26), previsto para proporcionar el mínimo de reflexión, una resistividad superficial eléctrica específica de más de 10^3 ohmios/cuadrado.

2. Pala de rotor según una de las reivindicaciones anteriores, poseyendo el mínimo de reflexión un valor inferior a -20 dB, especialmente inferior a -25 dB.

3. Pala de rotor según una de las reivindicaciones anteriores, poseyendo el factor de reflexión (R) dependiente de la frecuencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a 10 GHz exactamente un mínimo o exactamente dos mínimos.

4. Combinación de una estación de radar y un aerogenerador dispuesto en el campo de recepción de la estación de radar, caracterizada por que las palas de rotor del aerogenerador se configuran respectivamente como una pala de rotor (10) según una de las reivindicaciones 1 a 3, correspondiendo la frecuencia del mínimo de reflexión a la frecuencia de radar de la estación de radar.

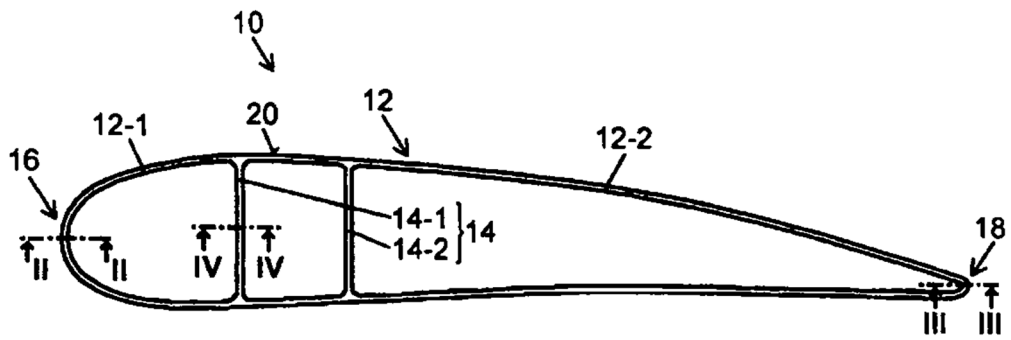


Fig. 1

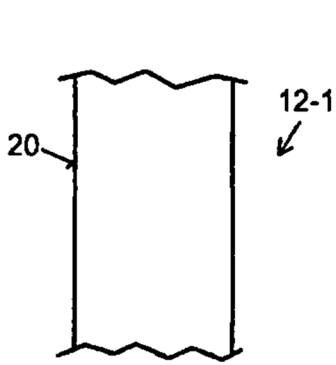


Fig. 2

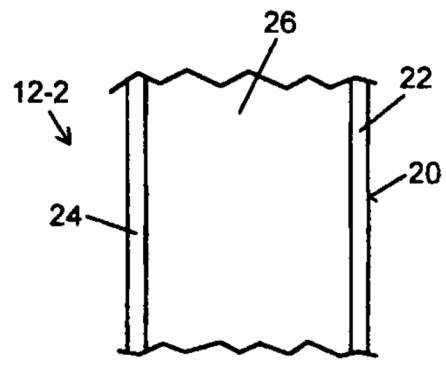


Fig. 3

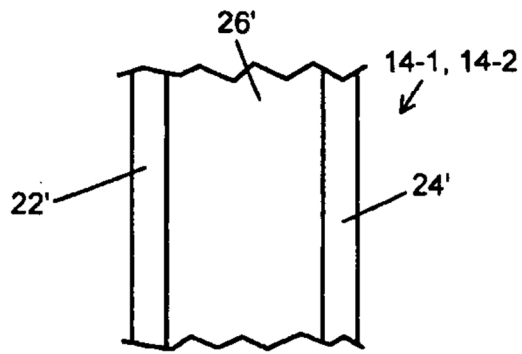


Fig. 4

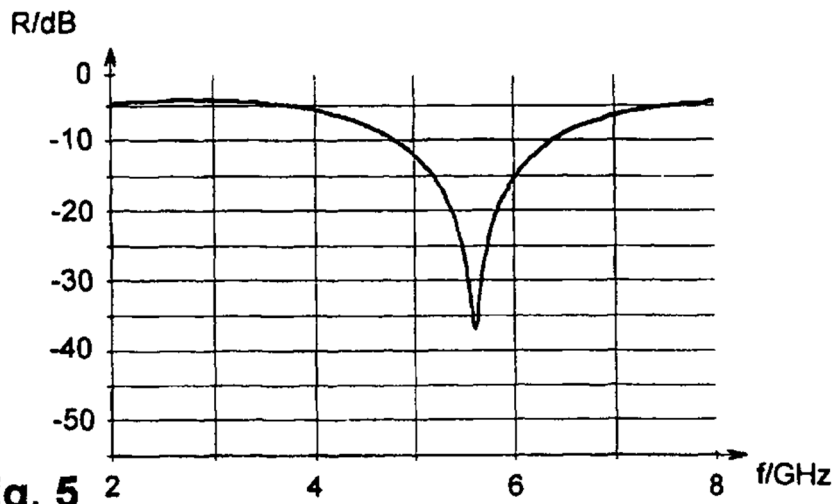


Fig. 5

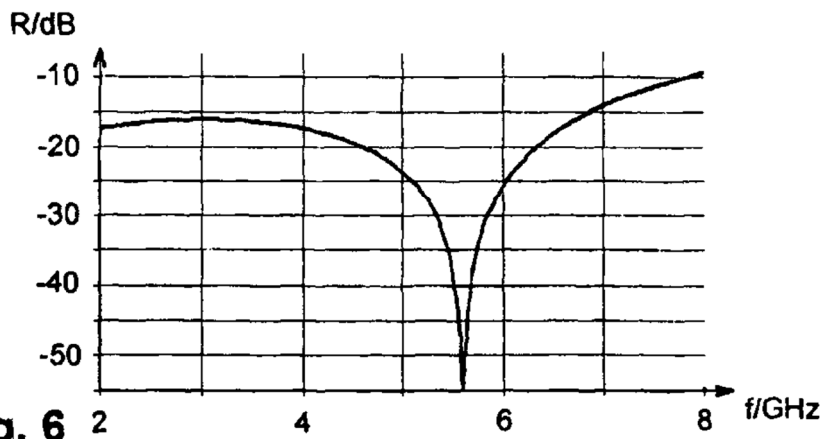


Fig. 6

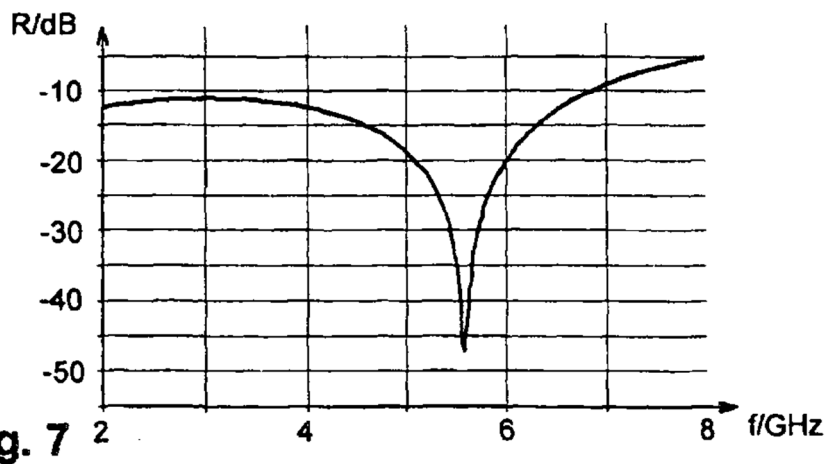


Fig. 7

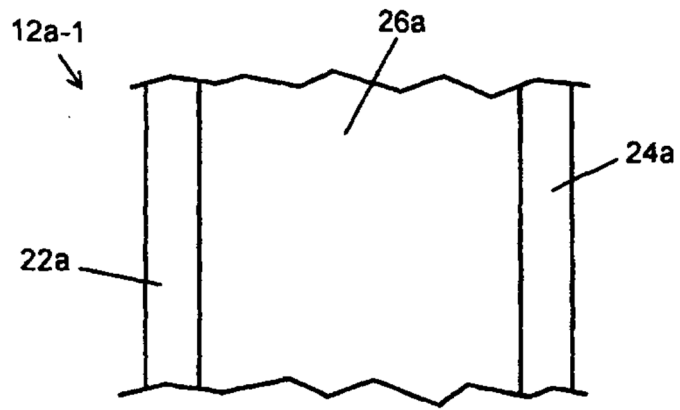


Fig. 8

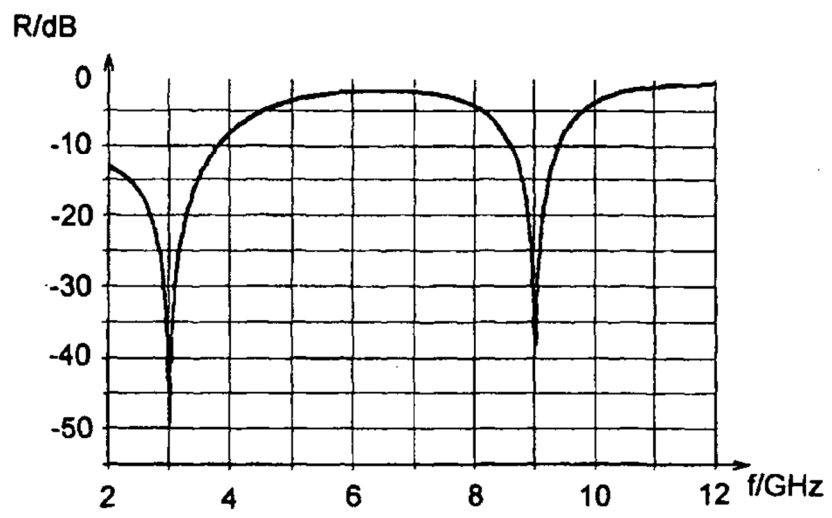


Fig. 9