

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 542 844**

51 Int. Cl.:

**F03D 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2003** **E 03799486 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2015** **EP 1583906**

54 Título: **Disposición de sensor de carga para palas de turbina eólica**

30 Prioridad:

**18.12.2002 DE 10259680**

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

**12.08.2015**

73 Titular/es:

**WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)  
Dreekamp 5  
26605 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**WOBEN, ALOYS**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 542 844 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

Disposición de sensor de carga para palas de turbina eólica.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para la medición de la flexión o modificación de longitud de un producto, a saber de una pala de rotor o de una torre de una instalación de energía eólica.

Por el documento EP-A-1 359 321 se conoce una instalación de energía eólica con una torre y con un rotor que presenta al menos una pala de rotor, determinándose una sollicitación mecánica de la pala de rotor con la ayuda de  
10 galgas extensiométricas.

Por el documento DE-A-101 13 039 se conoce una instalación de energía eólica que presenta un dispositivo para la detección de la sollicitación en la torre.

15 El objetivo de la presente invención es especificar una instalación de energía eólica, que presenta al menos una pala de rotor y una torre, en la que se pueda detectar la flexión de la pala de rotor y/o de la torre con medios sencillos.

El objetivo se resuelve según la invención con una instalación de energía eólica con las características según la reivindicación 1 y 2, así como un procedimiento según la reivindicación 6. En las reivindicaciones dependientes se  
20 describen perfeccionamientos ventajosos.

En tanto que en los documentos siguientes se describe una variante que se valora o evalúa según la resistencia eléctrica de un conductor que se tiende en la pala de rotor de la instalación de energía, a fin de determinar de ello una elongación longitudinal de la pala de rotor o una flexión de la pala de rotor en base a una modificación de la  
25 resistencia, se advierte que esta variante, que parte de la modificación de la resistencia en el caso de elongación / flexión del conductor, ya no pertenece a la invención según una de las reivindicaciones. No obstante, la revelación de esta parte se conserva en los presentes documentos para posibilitar la compresión total.

En este caso la variante no perteneciente ya a la invención se basa en el conocimiento de que una flexión de la pala  
30 de rotor siempre conduce a la extensión de la estructura portante y de que una extensión semejante, transferida a un conductor eléctrico, conduce a una modificación de la resistencia eléctrica del conductor.

Dado que esta modificación de la resistencia es proporcional a la extensión del conductor, la modificación de la resistencia es proporcional a la flexión de la pala de rotor. En el caso más sencillo se puede predeterminedar un valor  
35 límite para una modificación de la resistencia, cuyo sobrepaso indica simultáneamente una flexión de la pala de rotor que deteriora la estructura. El reconocimiento de esta situación permite por ello un cambio a tiempo o un examen de la pala de rotor para determinar si la pala de rotor se debe sustituir o no.

En una forma de realización preferida de la invención, a partir de la sollicitación de la pala de rotor se puede concluir  
40 sobre la sollicitación de la instalación de energía eólica y la instalación de energía se puede desconectar al sobrepasarse un valor límite predeterminedo. De este modo se evitan de forma fiable sollicitaciones posteriores y también más intensas.

Para poder compensar una modificación de la resistencia del cable eléctrico dependiente de la temperatura y/o  
45 proporcionar varios resultados de medición, está prevista una multiplicidad de conductores eléctricos. Estos conductores discurren en la dirección longitudinal de la pala de rotor y están conectados con un detector. En este caso varios conductores pueden estar conectados con un detector o cada conductor con un detector propio. El conductor previsto para la compensación de la temperatura se dispone de manera que no está sometido al esfuerzo de flexión y por ello sólo experimenta una modificación de la resistencia dependiente de la temperatura. De este  
50 modo se conoce la modificación de la resistencia condicionada por la temperatura y se puede tener en cuenta correspondientemente.

Una multiplicidad de conductores también permite un uso redundante. En el caso de una avería de un conductor, la modificación de la resistencia todavía se puede registrar de forma segura mediante los conductores redundantes. De  
55 este modo se suprime la necesidad de una reparación costosa debido al fallo de un conductor.

Además, la realización redundante de los conductores también permite una determinación comparativa de la modificación de la resistencia. Por consiguiente los conductores se pueden supervisar respectivamente entre sí mediante una comparación de la modificación de la resistencia detectada.

Al menos uno de los conductores eléctricos se extiende de forma especialmente preferida una medida predeterminada en la dirección longitudinal de la pala de rotor, pero siendo la medida más corta que la longitud de la pala de rotor. Este conductor no alcanza la punta de la pala de rotor, sino que termina en un punto predeterminado en la pala de rotor. Por consiguiente los conductores individuales se influyen diferentemente en función de la flexión de la pala de rotor y modifican su resistencia correspondientemente. Por ello a partir de los diferentes valores de la modificación de la resistencia se puede concluir sobre el desarrollo exacto de la flexión.

En una forma de realización preferida de la variante no perteneciente ya a la invención, los conductores configurados más cortos que la longitud de la pala de rotor también pueden estar configurados como ramales de un conductor que se extiende sobre toda la longitud de la pala de rotor. Para ello se conectan galvánicamente en puntos predeterminados con el conductor que se extiende sobre la longitud de la pala de rotor. De este modo se puede variar la resolución en la detección de la flexión de la pala de rotor conforme al número y las distancias de los ramales.

Para evitar deformaciones indeseadas de los conductores eléctricos, éstos están conectados preferiblemente con la estructura portante de la pala de rotor y están incluidos de forma especialmente preferida en la estructura portante de la pala de rotor. En este caso los conductores están incluidos en particular de forma preferida en la estructura portante que se debe elongar debido a la flexión de la pala de rotor. Los conductores conectados galvánicamente con conductores semejantes como ramales, los cuales aquí asumen la función de conductores de retorno, también se pueden tender libremente fuera de la estructura portante, por ejemplo, en forma de un cable.

En este caso es especialmente ventajoso prever en cada estructura portante en la dirección longitudinal de la pala de rotor al menos un conductor eléctrico. Esta disposición también permite la detección de la dirección de la flexión de la pala de rotor, dado que uno de los conductores eléctricos se somete a una elongación y por consiguiente cambia su resistencia, a saber aumenta, mientras que al menos otro conductor no se elonga. Mejor dicho este conductor se expone en el caso de montaje apropiado a una sollicitación a compresión en lugar de una sollicitación a tracción y por consiguiente más bien se recalca que alarga. Por consiguiente su valor de resistencia se modifica todo lo más en la dirección contraria. Se reduce entonces.

Los conductores eléctricos contienen de forma especialmente preferida al menos una fracción de aluminio predeterminada o están hechos de aluminio. De este modo en la zona de una deformación elástica del conductor ya se produce una modificación de la resistencia significativa, que es completamente reversible y por consiguiente reproducible. Correspondiente la flexión de la pala de rotor se puede supervisar de forma permanente sin que después de la flexión sea necesario un cambio de los conductores eléctrico o incluso de toda la pala de rotor. Naturalmente en principio cada conductor eléctrico es apropiado como sensor. Pero en este caso el conductor debería presentar una rugosidad superficial predeterminada para alcanzar una buena conexión mecánica con el material circundante.

Para no tener que cambiar toda la pala de rotor en el caso de un avería en la zona del conductor eléctrico, por ejemplo, una elongación excesiva o por fallo del material, los conductores están incluidos ventajosamente en una parte conectada con la estructura portante, pero separable. Con una forma de realización semejante de la invención también se pueden reequipar las palas de rotor ya fabricadas.

A continuación la invención se explica más en detalle mediante las figuras. En este caso muestra:

Fig. 1 una vista en planta de una pala de rotor cortada parcialmente de una primera forma de realización de la invención;

Fig. 2 una vista en planta de una pala de rotor cortada parcialmente de una segunda forma de realización de la invención;

Fig. 3 una vista en planta de una pala de rotor cortada parcialmente de una tercera forma de realización de la invención;

Fig. 4 una vista lateral simplificada de una pala de rotor flexionada de una primera manera;

Fig. 5 una vista lateral simplificada de una pala de rotor flexionada de una segunda manera;

Fig. 6 una representación de sección transversal simplificada de una pala de rotor;

Fig. 7 otra vista de sección transversal simplificada de un pala de rotor;

5 Fig. 8 el desarrollo de la resistencia de un conductor usado según la invención;

Fig. 9 una realización de principio de una pala de rotor según la invención junto con los diagramas de medición b) – e) en el caso de un desplazamiento de fase analógico;

10 Fig. 10 una representación de principio de un dispositivo de medición según la invención a) en una pala de rotor, así como los diagramas de medición producidos por ello en el caso de un desplazamiento de fase digital (b) – d));

Fig. 11 una representación de principio de una pala de rotor con una línea de medición;

15 Fig. 12 una representación según la fig. 11 con corriente o tensión aplicada;

Fig. 13 una representación de principio de una pala de rotor según la invención con una línea de medición con introducción de un impulso de entrada y medición de un impulso de salida, así como un diagrama de tiempo correspondiente para ello;

20

Fig. 14 un diagrama de conmutación para un procedimiento de cronómetro junto con el diagrama de tiempo; y

Fig. 15 circuito según la fig. 14, no obstante, para una estructura óptica con representación del diagrama de tiempo medido correspondiente.

25

En la figura 1 está representada una pala de rotor 10 en una vista en planta. La pala de rotor 10 se corta parcialmente para la clarificación de la estructura, de modo que se puede reconocer el desarrollo de dos conductores 20, 22.

30 La pala de rotor 10 está montada gracias a la raíz de la pala de rotor 11 en el buje 12 de una instalación de energía eólica, que aquí y en las figuras restantes sólo está indicada para la orientación. En la pala de rotor discurren un primer conductor 20 y un segundo conductor 22 desde la raíz de la pala de rotor 11 en la dirección longitudinal de la pala de rotor hasta la punta de la pala de rotor 13 ida y retorno. Correspondientemente cada uno de los conductores 20, 22 comprende un conductor de ida 20a, 22a y un conductor de retorno 20b, 22b. Los dos conductores 20, 22  
35 están conectados con un detector 16 que determina la resistencia eléctrica de los dos conductores 20, 22.

En este caso el primer conductor 20 está representado de forma rectilínea. De este modo se simboliza que este conductor está conectado con la pala de rotor de manera que una elongación de la estructura de la pala de rotor también conduce a una elongación de este conductor 20. El segundo conductor 22 está representado tendido de  
40 forma no rectilínea en la zona de la punta de la pala de rotor 13. De este modo se indica que este conductor no está conectado con la pala de rotor 10, de manera que se deforma con ella. Mejor dicho este segundo conductor 22 no se debe deformar precisamente. Correspondientemente su resistencia se modifica ante todo en función de la temperatura, de modo que se conoce la influencia de la temperatura sobre la modificación de la resistencia y se puede tener en cuenta en la detección de la modificación de la resistencia del primer conductor eléctrico 20 y no  
45 conduce a resultados falsos.

El detector 16 puede estar conectado con el control de la instalación de energía eólica, de modo que durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica también se puede tener en cuenta la flexión de las palas de rotor.

50 La figura 2 muestra una estructura similar, según se ha explicado ya en la figura 1. Sin embargo, aquí están representados cuatro conductores eléctricos 20, 22, 24, 26. Aquí no está representado un conductor para la compensación de temperatura para una mayor claridad, pero naturalmente también puede estar previsto en esta forma de realización.

55 En esta figura los cuatro conductores eléctricos 20, 22, 24, 26 están conectados con la pala de rotor 10, de manera que siguen la flexión de la pala de rotor 10. Pero dado que estos conductores se extienden a diferente distancia en la dirección longitudinal de la pala de rotor 10, a partir de la modificación de la resistencia de los conductores individuales conociendo su longitud se puede concluir sobre la deformación de la pala de rotor.

Si sólo estuviera presente el primer conductor 20, que se extiende hasta la punta de la pala de rotor 13, a partir de la modificación de la resistencia sólo se podría concluir en sí sobre una flexión. Pero dado que el segundo conductor 22 no se extiende hasta la punta de la pala de rotor 13, a partir de una modificación de la resistencia en el primer conductor 20 se puede deducir que aparece una flexión en la punta de la pala de rotor. Si en los conductores 22, 24, 5 26 restantes no aparecen modificaciones de la resistencia, con lo que aquí y a continuación sólo se refiere a modificaciones de la resistencia dependientes de la elongación, entonces está flexión sólo está limitada de forma reconocible en la zona exterior de la pala de rotor 10 próxima a la punta de la pala de rotor.

Si aparecen modificaciones de la resistencia en los conductores 20, 22 y 24, mientras que la resistencia del conductor 26 permanece invariable, esto permite la afirmación de que la pala de rotor se flexiona aproximadamente en la mitad exterior en la dirección longitudinal.

En esta figura los conductores 20, 22, 24, 26 también están conectados con el detector 16, que de nuevo puede estar conectado con el dispositivo de control para el control de la instalación de energía eólica.

15 En la figura 3 está representada una forma de realización alternativa de la invención. En la pala de rotor 10 un conductor 20 discurre desde el detector a lo largo de toda la longitud de la pala de rotor hasta la punta de la pala de rotor 13. Con este conductor 20 están conectados los ramales 28 mediante una conexión galvánica 29. Mediante la selección del número y posición de los ramales se puede predeterminar qué zonas de la pala de rotor 10 y con qué exactitud se deben supervisar. O expresado de otra forma, con qué resolución y en qué zona de la pala de rotor 10 se debe detectar una flexión.

En particular en la forma de realización de la invención representada en esta figura se clarifica que es ventajoso el uso de un conector enchufable en la zona de la raíz de la pala de rotor 11 (no obstante, no representado aquí), dado que los conductores 20, 28 ya se pueden conectar con el conector enchufable en la fabricación de la pala de rotor 10 y examinar las conexiones. Durante el montaje de la pala de rotor en la obra se pueden usar entonces cables ya confeccionados para establecer la conexión con el detector. De esta manera se hace realidad un montaje sencillo y poco propenso a fallos

30 La figura 4 muestra de forma simplificada una vista lateral de una pala de rotor 10 flexionada. En esta figura también está representada la zona de la raíz de la pala 11, el buje 12 indicado y el detector 16. En este caso la distancia de los conductores 20 a la superficie de la pala del rotor 10 no se debe entender en ningún caso a escala. Mejor dicho es válido que la detección de la flexión es tanto más exacta cuanto más cerca discurren los conductores de la superficie de la pala de rotor 10. Para la explicación en esta figura se tienen que poder diferenciar naturalmente la superficie de la pala de rotor 10 y los conductores.

La pala de rotor 10 está doblada hacia abajo en esta figura. Correspondientemente el lado de la pala de rotor 10 puesto en la dirección de doblado es el lado inferior y el lado opuesto es correspondientemente el lado superior.

40 De estas figuras se puede reconocer claramente que un conductor 20 está previsto en el lado superior y un conductor 21 en el lado inferior de la pala de rotor 10. En el caso de la flexión representada de la pala de rotor, el conductor 20 se elonga en el lado superior de la pala de rotor y modifica significativamente su resistencia, de modo que esto se puede detectar de forma segura por el detector 16. El conductor 21 en el lado inferior de la pala de rotor 10 no se elonga durante esta flexión, sino que en todo caso se recalca. De este modo en este conductor no se produce de forma segura un aumento de la resistencia. En consecuencia a partir de la modificación de la resistencia en el conductor 20 en el lado superior de la pala de rotor 10 se puede concluir de forma fiable sobre la dirección de la flexión de la pala de rotor.

50 En la figura 5 está representado un caso especial de la flexión de la pala de rotor 10, que no es extraño en absoluto en la práctica. En este caso la pala de rotor se flexiona en su zona central en la dirección de la flecha A (hacia el lado inferior), pero en su zona exterior cerca de la punta de la pala de rotor 13 en la dirección de la flecha B, es decir hacia el lado superior de la pala de rotor. Un equipamiento de la pala de rotor 10 con los conductores 20, 21, que discurren ambos hasta la punta de la pala de rotor 13, tendría como resultado una elongación para ambos conductores.

55 Si se prescinde antes de un caso de avería, de ello ya se puede derivar una flexión peligrosa de la pala de rotor 10 y se debe controlar correspondientemente la instalación, por ejemplo desconectar. Sin embargo, de ello todavía no se puede reconocer el desarrollo real de a flexión de la pala de rotor. Dado que están previstos otros conductores 22, 23, que no discurren hasta la punta de la pala de rotor 13, en el caso de la flexión representada el conductor 22

también se elonga y por ello aumenta su resistencia correspondiente. Correspondientemente a partir de la detección de las resistencias o modificaciones de las resistencias de los conductores 20, 21, 22, 23 mediante el detector 16 se puede concluir ahora sobre la flexión real de la pala de rotor 10. En este caso se destaca otra vez que los conductores 20, 21, 22, 23 discurren muy cerca unos junto a otros y en lo posible cerca de las superficies correspondientes de la pala de rotor, de modo que la elongación, reconocible supuestamente en esta figura, del segundo conductor 23 en el lado inferior de la pala de rotor no aparece en la realidad.

Alternativamente a esta forma de realización con varios conductores 20, 21, 22, 23 de longitud diferente, que aquí pueden estar configurados como bucle conductor, en el lado superior y/o en el lado inferior de la pala de rotor 10 también se puede usar naturalmente la forma de realización de la invención representada en la figura 3. Por consiguiente también se producen naturalmente las ventajas allí descritas, en particular la posibilidad de predeterminar la exactitud de la detección de la flexión mediante la selección del número y distancia de los ramales.

En las figuras 6 y 7 se muestra de forma simplificada una sección transversal a través de una pala de rotor según la invención. En la pala de rotor mostrada en la figura 6 están representadas respectivamente las estructuras portantes 34, 36 que discurren en la dirección longitudinal. Estas estructuras portantes 34, 36 pueden ser, por ejemplo, correas de remo, es decir, estructuras portantes formadas por haces de fibras de vidrio y resina epoxi que se extienden esencialmente sobre toda la longitud de la pala de rotor.

En estas estructuras portantes 34, 36 están embebidos los conductores eléctricos 20, 21, 22, 23. En este caso los conductores de ida y de retorno están designados respectivamente con las letras a y b para clarificar que cada vez se trata de un conductor que discurre en ida y retorno desde la raíz de la pala de rotor en la dirección longitudinal de la pala de rotor.

El desarrollo se puede determinar muy exactamente mediante la incorporación de los conductores 20, 21, 22, 23 en las estructuras portantes 34, 36. Por consiguiente también se garantiza un desarrollo lo más próximo posible a la superficie correspondiente de la pala de rotor, de modo que se pueden sacar conclusiones de las modificaciones de la resistencia con seguridad suficiente.

La figura 7 muestra igualmente las estructuras portantes 34, 36. Sin embargo, los conductores 20, 21, 22, 23 no están incorporados aquí en las mismas estructuras portantes 34, 36, sino en los soportes 38. Estos soportes 38 pueden presentar la misma estructura que las estructuras portantes 34, 36, de modo que la cooperación entre los soportes 38 y los conductores 20, 21, 22, 23 se corresponde exactamente con la cooperación de los conductores con las estructuras portantes 34, 36.

Los soportes 38 pueden estar conectados en este caso con las estructuras portantes 34, 36 de forma fija pero separable. Si debido a defectos de materiales u otro daño es necesario el cambio de un conductor, entonces esto no conduce obligatoriamente a la pérdida de la pala de rotor completa o su reparación muy costosa, sino que el soporte 38 correspondiente se suelta de la estructura portante 34, 36 y se sustituye por uno nuevo.

Mediante esta forma de realización de la invención, con selección apropiada de la conexión entre las estructuras portantes 34, 36 y los soportes 38 o también de la conexión entre la superficie de la pala de rotor 10 (naturalmente en el lado interior) y los soportes 38 se posibilita un reequipamiento de palas de rotor ya terminadas.

La figura 8 muestra el desarrollo determinado empíricamente de la resistencia eléctrica de un alambre en función de la tensión de tracción. La zona izquierda 40 de la curva característica discurre de forma rectilínea, la zona central 42 de la curva característica asciende de forma significativa y en la zona derecha 44 la curva característica discurre en primer lugar de nuevo de forma rectilínea, antes de que se produzca un aumento repentino de la resistencia con disminución de la resistencia subsiguiente y finalmente un aumento de la resistencia.

La zona derecha 44 de la curva característica ha demostrado ser característica para el desgarro del conductor eléctrico en el caso de tensión de tracción demasiado elevada. Por el contrario la modificación de la resistencia en la zona central 42 de la curva característica discurre en una zona de deformación elástica del conductor eléctrico. En la tanda de medición para la determinación de esta curva característica se ha determinado la zona de la deformación elástica del conductor eléctrico en el caso de una elongación en la dirección longitudinal por debajo de un porcentaje de la simple longitud del conductor y en el caso de aluminio en particular en el rango del 0,3 por ciento.

Una elongación de un alambre de aluminio en la dirección longitudinal en el 0,3 por ciento es por lo tanto una deformación elástica que, no obstante, conduce a una modificación de la resistencia significativa y detectable. Esto

se ha determinado en las tandas de medición con hasta 25 mΩ.

Dado que la deformación es elástica, el conductor eléctrico no se deteriora de este modo y la modificación de la resistencia se puede reproducir de forma fiable. Correspondientemente la flexión de la pala de rotor se puede reconocer de forma repetida con los mismos conductores eléctricos.

Las otras figuras 9 ó 10 muestra una compleción o alternativa al procedimiento descrito hasta ahora o enfoque de la solución dado a conocer hasta ahora. Este enfoque de la solución se puede implementar con señales analógicas y/o digitales. Es común a ambas soluciones según las fig. 9 y 10 que el tiempo de propagación de las señales en el circuito no se incorpora en el reconocimiento del tiempo de propagación. De este modo se puede determinar el tiempo de propagación real en la línea.

Se puede comparar ampliamente la estructura de la solución analógica y digital en las fig. 9 y 10. En ambos casos entre el emisor y el receptor se sitúan dos líneas, a saber una línea de referencia, cuya longitud no se modifica y en paralelo a ella una línea de medición a través de cuya elongación se detecta la flexión, por ejemplo, de una pala de rotor. Junto al hecho de que aquí se pueden comparar el tiempo de propagación entre la línea de referencia y la línea de medición, estas dos líneas también están sometidas a las mismas influencias térmicas de modo que se compensa su efecto.

En la solución analógica (primera alternativa), en el estado de reposo están en fase la señal de referencia (una señal eléctrica analógica) y la señal de medida. Correspondientemente se produce una señal resultante con la misma frecuencia, pero amplitud mayor.

Si debido a la elongación de la línea de medición se produce un desplazamiento de fase, naturalmente también se modifica la señal resultante. Por un lado el valor de pico a pico es menor que en las señales en fase, además también se produce una curva envolvente modificada para la señal resultante.

En el estado de la técnica es suficientemente conocido como se detectan tales modificaciones. Se puede reconocer fácilmente que la amplitud se vuelve menor hasta un desplazamiento de fase de 180°. Más allá de este rango hasta un periodo completo se deben tener en cuenta los signos para obtener una afirmación fiable de la posición de fase.

En la solución digital, en el caso de la entrada en fase de las señales en el receptor se produce el valor medio aritmético más pequeño (naturalmente también en función de la relación duración – periodo). Pero supuesta una relación duración – periodo igual en adelante, el valor medio aritmético aumenta con desplazamiento de fase creciente entre la señal de referencia y señal de medida. Éste es por ello una medida para el desplazamiento de fase de las señales en el receptor.

Los procedimientos arriba descritos se pueden hacer realidad con señales eléctricas, señales ópticas y en principio también con señales acústicas. En principio es válido que en el caso de elongación pequeña sea ventajosa la elección de una frecuencia elevada (es decir, una frecuencia de más de 1 kHz, preferentemente varios MHz), mientras que en el caso de elongación grande se debe preferir la elección de una frecuencia baja, para obtener respectivamente un desplazamiento de fase en la zona dentro de un periodo.

La presente solicitud, para la comprensión del transfondo y respecto a la realizabilidad, también remite expresamente al contenido de las solicitudes de patentes alemanas 38 21 642 y 37 12 780. De estas solicitudes se conoce como se pueden determinar las modificaciones de longitud o distancia, que están condicionadas por la modificación de magnitudes físicas como la temperatura o presión, mediante la medición del tiempo de propagación de señales eléctricas en una fibra óptica expuesta a la magnitud física. A través de un multivibrador óptico se alimentan las señales en la fibra óptica. En este caso a través de un contador de alta frecuencia se determina el tiempo de propagación total de varios pulsos. Mediante la comparación con un resultado de conteo normalizado (referencia) se determina la desviación del resultado del contador determinado realmente de este resultado de conteo normalizado, de ello se averigua la diferencia de longitud o distancia que se produce y esta diferencia de longitud o distancia se convierte en la magnitud física a determinar.

Por el documento DE 37 12 780 se conoce un procedimiento y un dispositivo para la medición exacta y rápida de la longitud de una línea a testar hasta una discontinuidad eléctrica en la línea, suministrándose un flanco de impulso mediante un generador de flancos de impulsos a un extremo de la línea, detectándose el flanco de impulso reflejado que vuelve de la discontinuidad hacia un extremo, desencadenándose la generación de un flanco de impulso después de un tiempo predeterminado después de la detección del flanco de impulso reflejado, de modo que el

5 generador de flancos de impulsos se impulsa a generar de forma repetida el flanco de impulso con una frecuencia que está en referencia al retardo del tiempo de propagación en la longitud de la línea y se mide esta frecuencia. El documento DE 37 12 780 describe por consiguiente como se puede detectar una “discontinuidad” en la línea y también muestra la posibilidad de usar, en lugar del tiempo de propagación, el inverso, es decir, a saber la frecuencia.

10 Según el documento DE 38 21 642 se detecta el tiempo de propagación en un conductor entre un emisor y un receptor y esto ocurre mediante el así denominado procedimiento de cronómetro, es decir, con el envío de un impulso comienza el conteo de ciclos de una señal con una frecuencia claramente mayor y este conteo se prosigue hasta que el receptor recibe el impulso. El valor de conteo es entonces la medida para el tiempo de propagación.

15 Según la fig. 11 se muestra ahora (como también ya en las fig. 9 y 10) en principio una pala de rotor con una línea de medición dispuesta en ella, que está empotrada preferiblemente en la superficie de la pala de rotor como alambre de medición (o fibra óptica). Las cargas mecánicas (cargas por viento) doblan la pala de rotor y la línea de medición se elonga o recalca en la longitud. Esta modificación de la carga es entonces proporcional a la modificación de longitud

$$\Delta F \sim \Delta l.$$

20 Se debe contar con una modificación de longitud del 0,0% al 0,2%, que se corresponden con el 0,0% al 100% de carga. Entonces el objetivo es determinar la modificación de longitud con una resolución lo más elevada posible.

25 Como primera solución la resistencia óhmica del alambre se puede suponer proporcionalmente a la longitud y por también a la carga.

$$\Delta R \sim \Delta l \sim \Delta F.$$

En el alambre se aplica una corriente y se mide la caída de tensión en él, según está representado en la fig. 12.

30 Los ensayos han mostrado que este principio funciona.

35 Pero hay algunos problemas ya que es necesaria una exactitud de medición muy elevada (< 0,002%), dado que la señal es de 0,2% del valor absoluto y todavía se debe subdividir en al menos 100 gradaciones. Además, la resistencia óhmica del alambre se modifica muy fuertemente con la temperatura del alambre. La señal está superpuesta con perturbaciones que se pueden generar mediante campos eléctricos y magnéticos. Esto se hace notar especialmente durante las tormentas. El alambre con la unidad electrónica conectada se puede deteriorar debido a la incidencia directa de rayos.

40 Una solución alternativa está representada en la fig. 13. En este caso se determina la longitud del alambre de propagación mediante el tiempo de propagación de un impulso. La velocidad es 2/3 la velocidad de la luz, es decir, aproximadamente 200.000 km/s.

Según se puede ver en la fig. 13, la

45 
$$\Delta t \sim \Delta l \sim \Delta F$$

y la modificación del tiempo de propagación es una medida para la carga.

50 En el caso de una longitud de línea asumida de 40m se produce  $t = 200$  ns con una superposición de  $\Delta t$  de 0 a 400ps.

Dado que este tiempo no se puede detectar de forma sencilla con técnicas de medición, se constituye el inverso, a saber

55 
$$f = \frac{1}{t + \Delta t}$$

Ahora se produce una frecuencia.

Los valores de frecuencia se pueden determinar de forma muy sencilla y el valor medido se puede descomponer a voluntad finamente (mediante adaptación del tiempo de compuerta del contador de frecuencia).

- 5 A partir del tiempo de propagación de la señal se constituye ahora una frecuencia, en tanto que el impulso entrante envía inmediatamente un nuevo impulso a la línea (procedimiento de cronometro). El número de impulsos enviados por segundo constituye la frecuencia.

La fig. 14 muestra un diagrama de conmutación para ello junto al diagrama.

10

El impulso se sustituye por un cambio de nivel y según se menciona se ajusta una frecuencia de

$$f = \frac{1}{2t}, \text{ es decir con } t = \frac{1}{2\left(\frac{2}{3}c\right)}.$$

- 15 En el caso de una longitud de línea de 40 m da como resultado que

$$f = \frac{40m}{2(200 \cdot 10^{-9} m/s + \Delta t)} = 2,5MHz$$

- 20 Mediante la acción de la carga se producen frecuencias entre 2,5 MHz y 2,505 MHz, es decir una modificación de valor de 5000 Hz.

Un contador de frecuencia con un tiempo de compuerta de 20 ms proporcionaría 50 valores por segundo con una resolución de la carga del 1%. Estos valores se componen entonces ya de valores medios de 50 mediciones de longitud individuales.

25

Así se produce entonces la ventaja de que no es necesaria una unidad sensora analógica sensible, dado que está presente una razón señal / ruido elevada (0V ó 10V) y no se producen modificaciones del tiempo de propagación perturbadoras debido a las oscilaciones de la temperatura.

- 30 Esto es válido en particular según la solución según las fig. 9 y 10, donde junto a la línea de medición también está configurada una línea de referencia.

La solución descrita anteriormente también se puede realizar de forma óptica. En este caso se sustituye un alambre por una fibra óptica y el reacoplamiento se realiza mediante el emisor de fibra óptica y receptor de fibra óptica, según

35

está representado esto en la fig. 15.

En este caso se producen en particular las ventajas de que no es necesaria una unidad sensora analógica sensible, dado que está presente una razón señal / ruido elevada (luz encendida o apagada), no se producen modificaciones del tiempo de propagación perturbadoras debido a una oscilación de la temperatura, no se produce una perturbación del cable de fibra óptica mediante campos eléctricos o magnéticos y tampoco se deben esperar efectos por un impacto de rayo.

40

Se debe esperar que en la práctica la flexión de la pala ya se pueda medir claramente con una modificación de la longitud de menos de 1 mm. Por lo que se describe en la presente solicitud, la solución según la invención se puede usar para la modificación de longitud de la pala de rotor, entonces se remite a que también se puede medir la torsión de la pala de rotor cuando la línea de medición se dispone correspondientemente de forma espiral sobre la superficie de la pala de rotor, de modo que una torsión de la pala de rotor también conduce automáticamente a una modificación de longitud de la línea de medición enrollada.

45

- 50 En particular con el método de medición según la invención también se pueden supervisar con técnicas de medición secciones parciales de la pala de rotor con vistas a su sollicitación, como también elongación longitudinal, lo que puede ser muy útil en particular en la zona de la punta de pala en el caso de aparecer ráfagas, a fin de detectar mejor que hasta ahora los peligros en el caso individual concreto de cargas de palas dadas.

Expresamente se remite a que lo dado a conocer en las fig. 11 a 14 también se puede combinar evidentemente sin más con lo dado a conocer en las otras figuras. Cuando se habla de un procedimiento de cronómetro, entonces se aclara con ello que esto significa entre otros que el cronómetro se para en el caso de recepción del impulso emitido y 5 simultáneamente se inicia de nuevo y por lo tanto significa la frecuencia de los ciclos de parada / inicio en un intervalo de tiempo determinado, por ejemplo 1 segundo.

En este caso se puede concebir cualquier forma de una señal de pulso, entre otros también una señal por compresión de impulsos según la función sinusoidal  $x/x$ .

10

**REIVINDICACIONES**

1. Instalación de energía eólica con un dispositivo para la medición de la flexión o modificación de longitud de un producto de la instalación de energía eólica, a saber de una pala de rotor (10) o de una torre de la  
5 instalación de energía eólica, en la que en el producto está tendido un conductor (20, 22, 24, 26) que experimenta una modificación de longitud en el caso de flexión y/o modificación de longitud del producto, en la que mediante un generador de señales se genera una señal, preferiblemente una señal de pulso, y en la entrada de la línea (20, 22, 24, 26) se alimenta en ésta, en la que en el final de la línea (20, 22, 24, 26) está dispuesto un receptor de señales que, en el caso de recepción de la señal del generador de señales, impulsa a éste a emitir otra señal y que está  
10 configurado un dispositivo mediante el que se mide el número de las señales emitidas dentro de una unidad de tiempo predeterminada y a partir de la comparación del número medido de las señales emitidas por unidad de tiempo determinada con una tabla almacenada se puede determinar la flexión y/o alargamiento del producto, a saber de la pala de rotor (10) o de la torre de la instalación de energía eólica.
- 15 2. Instalación de energía eólica con un dispositivo para la medición de la flexión o modificación de longitud de un producto, a saber de una pala de rotor (10) o de una torre de una instalación de energía eólica, en la que en el producto está tendido un conductor (20, 22, 24, 26) que experimenta una modificación de longitud en el caso de una flexión y/o modificación de longitud del producto, en la que mediante un generador de señales se genera una señal, preferiblemente una señal de pulso, y en la entrada de la línea (20, 22, 24, 26) se alimenta en ésta, en la que no obstante en el final de la línea (20, 22, 24, 26) está dispuesto un reflector que refleja la señal del  
20 generador de señales hacia la entrada de la línea (20, 22, 24, 26), donde ésta se recibe en la entrada por un receptor de señales y lo que entonces desencadena el disparo de otra señal por parte del generador de señales, en la que el generador de señales y el receptor de señales están conectados entre sí y el tiempo entre la recepción de señal y el disparo de una señal siguiente por parte del generador de señales es siempre esencialmente constante y  
25 que está configurado un dispositivo mediante el que se mide el número de las señales emitidas dentro de una unidad de tiempo predeterminada y a partir de la comparación del número medido de las señales emitidas por unidad de tiempo determinada con una tabla almacenada se puede determinar la flexión y/o modificación de longitud del producto, a saber de la pala de rotor (10) o de la torre de la instalación de energía eólica.
- 30 3. Instalación de energía eólica 1 ó 2,  
**caracterizada porque** la línea (20, 22, 24, 26) es una línea eléctrica (20, 22, 24, 26) o una fibra óptica.
4. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores,  
35 **caracterizada porque** el conductor (20, 22, 24, 26) está conectado en arrastre de forma con el producto, es decir, con la pala de rotor (10) o la torre de la instalación de energía eólica, al menos en sus extremos.
5. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores,  
40 en la que el conductor (20, 22, 24, 26) está conectado en arrastre de forma al menos en una zona determinada con el producto, es decir, la pala de rotor (10) o la torre de la instalación de energía eólica, y en el caso de una flexión o alargamiento del producto el conductor (20, 22, 24, 26) sólo se elonga en esta zona predeterminada.
- 45 6. Procedimiento para la medición de la flexión o modificación de longitud de una pala de rotor (10) o de una torre de una instalación de energía eólica con un dispositivo según la reivindicación 1 ó 2.

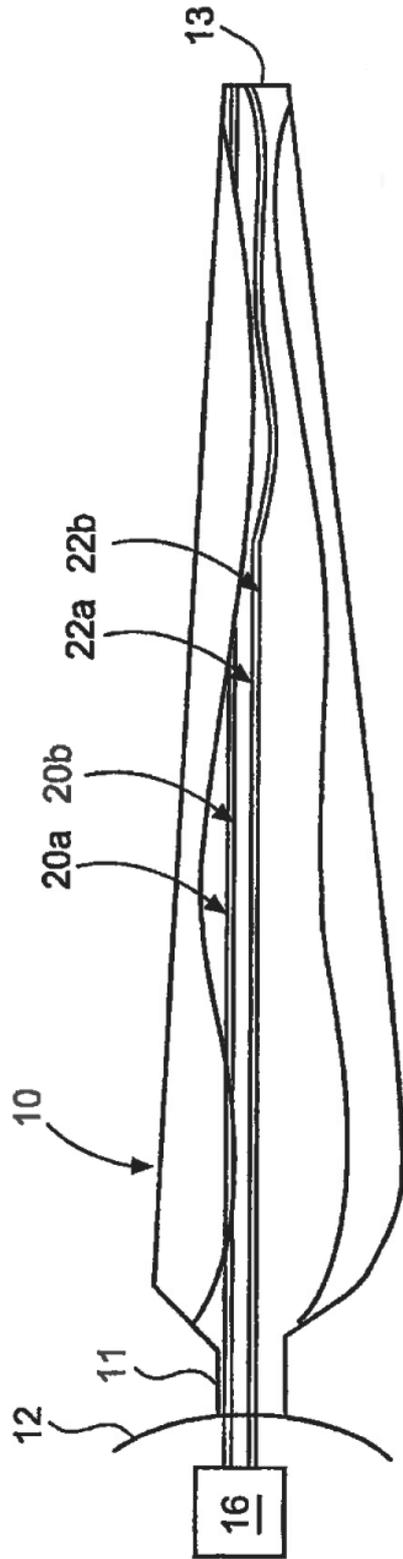


Fig.1

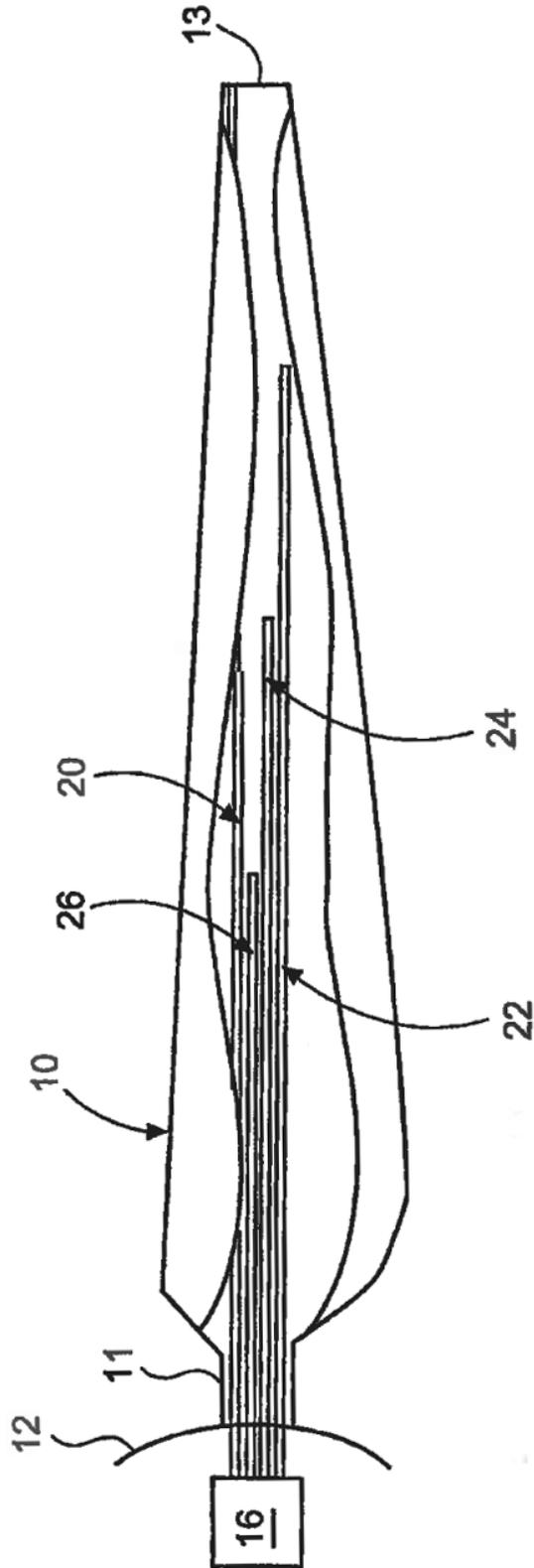


Fig.2

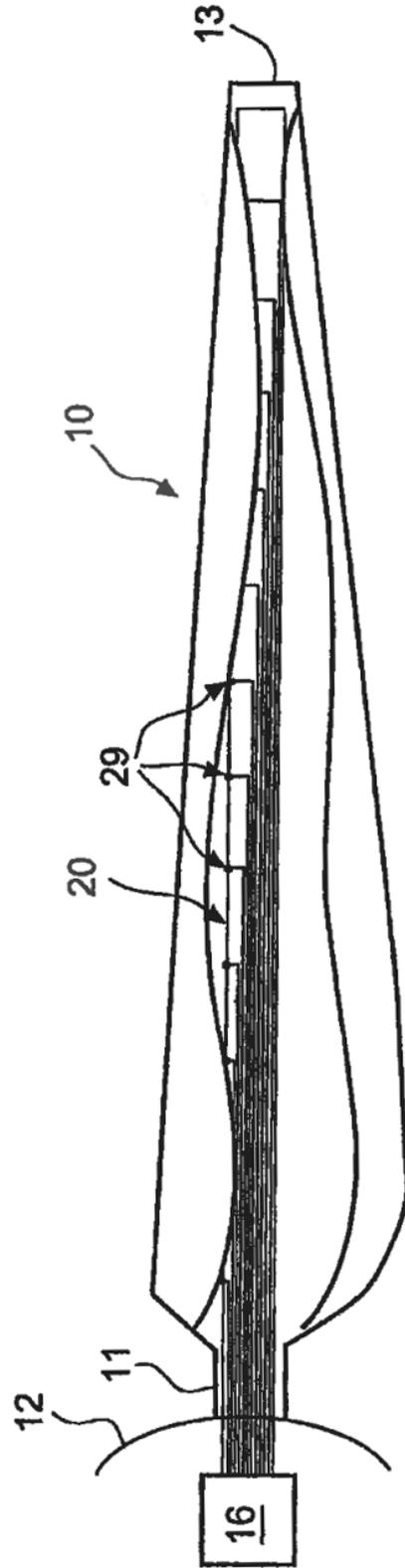


Fig.3

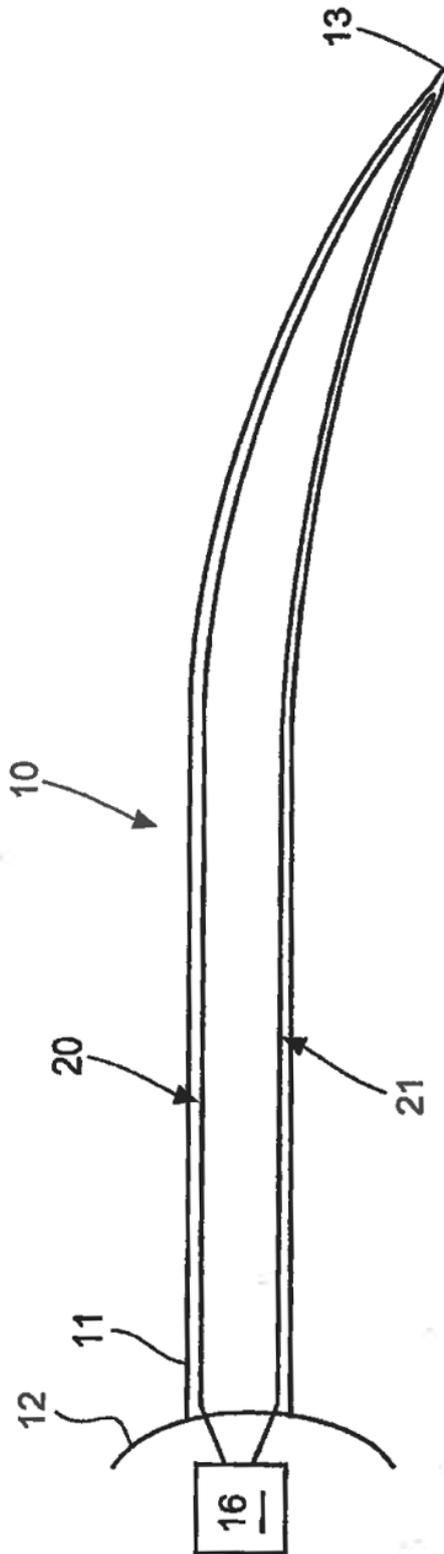


Fig.4

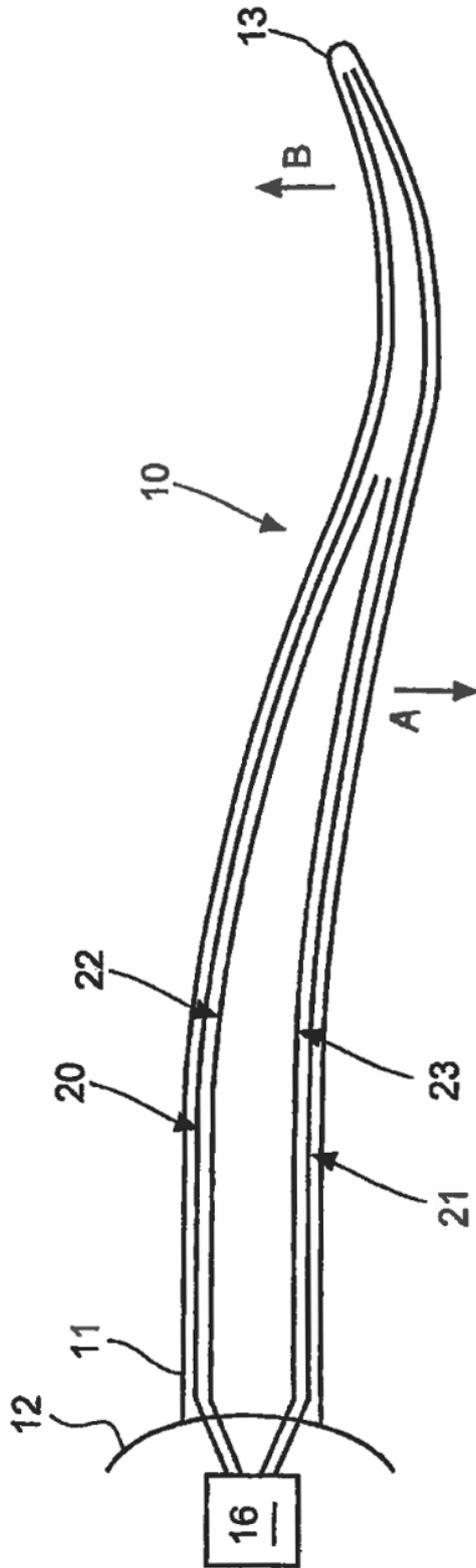
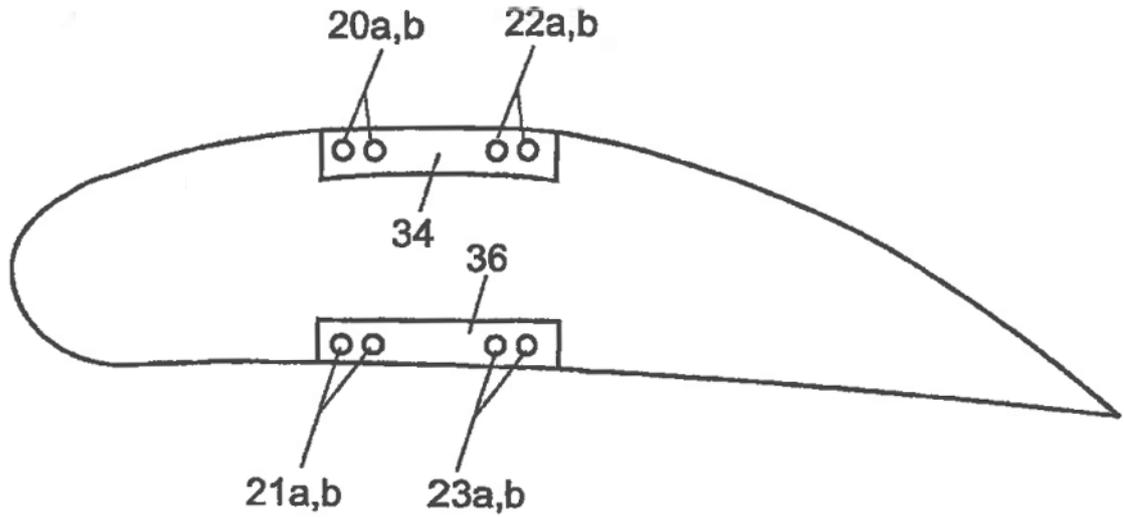
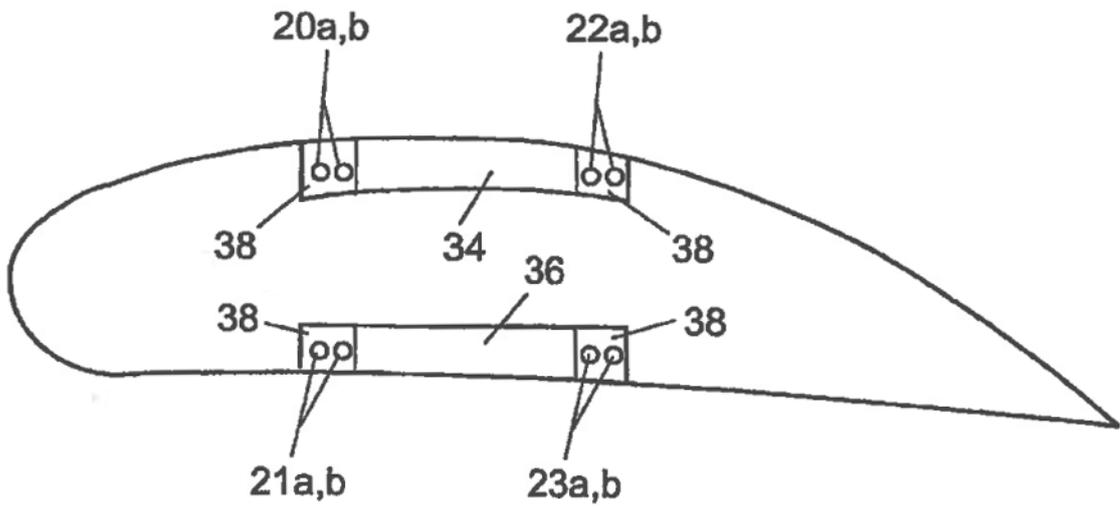


Fig.5



**Fig.6**



**Fig.7**

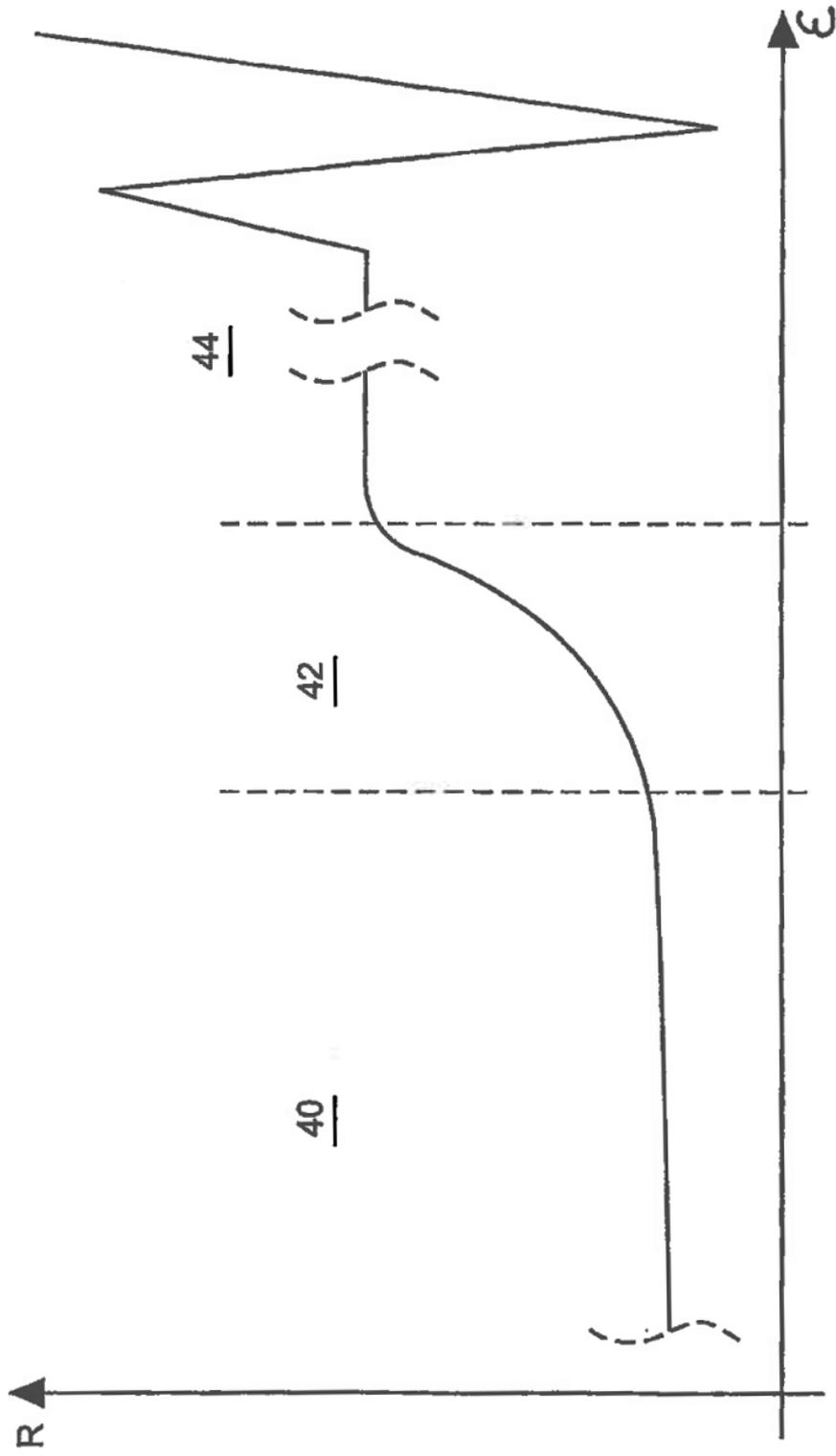


Fig.8

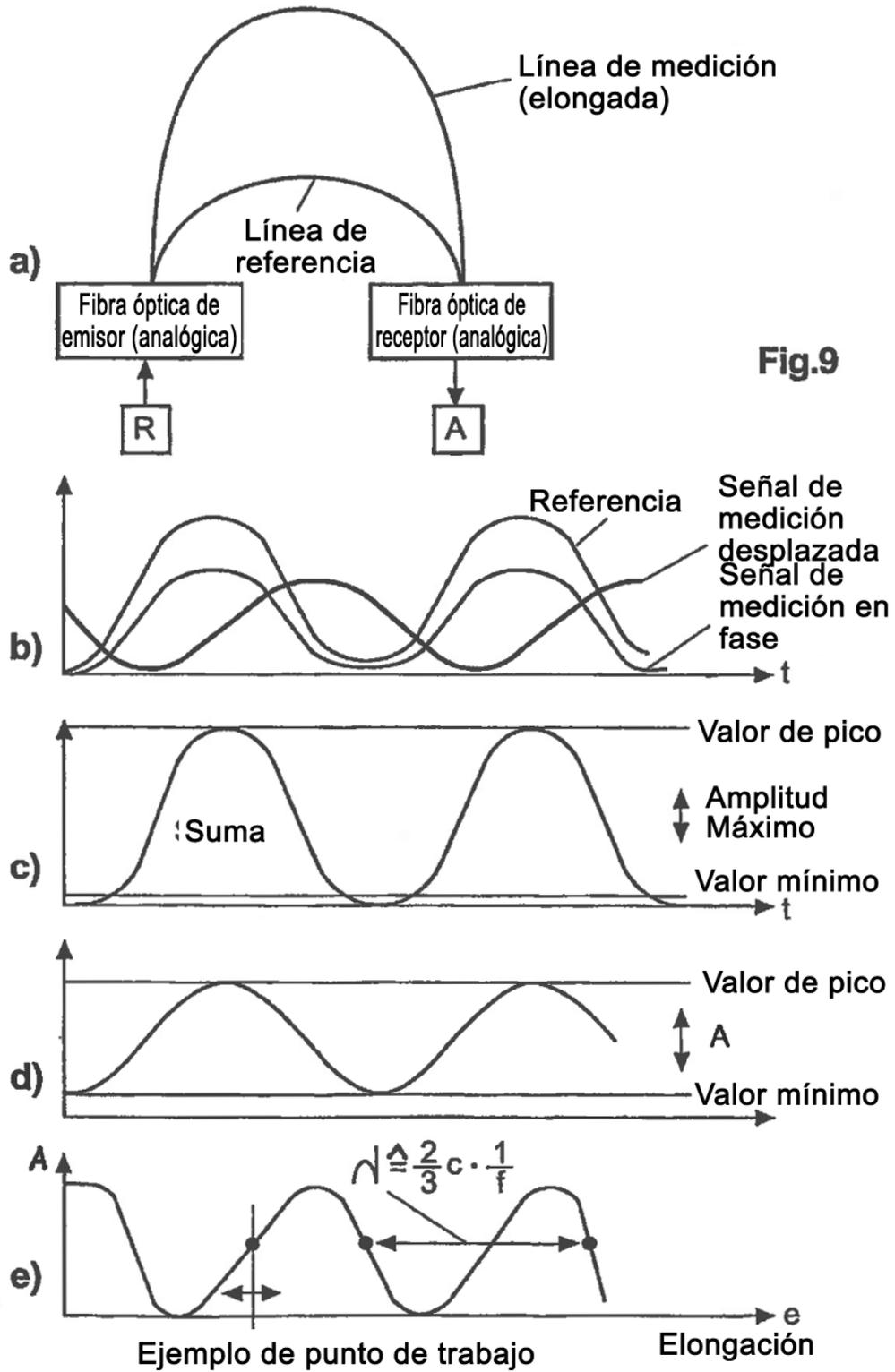


Fig.9

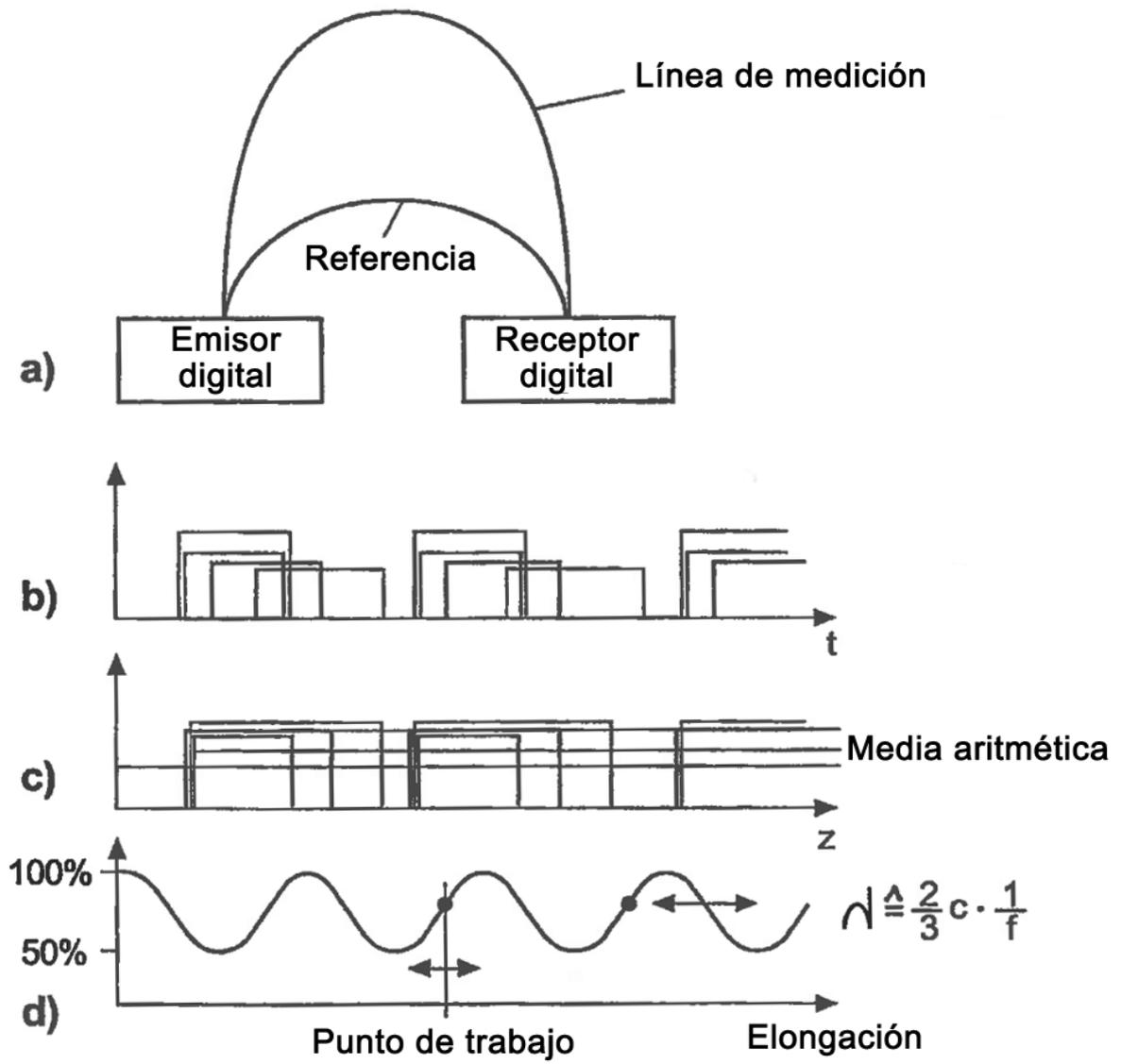


Fig.10

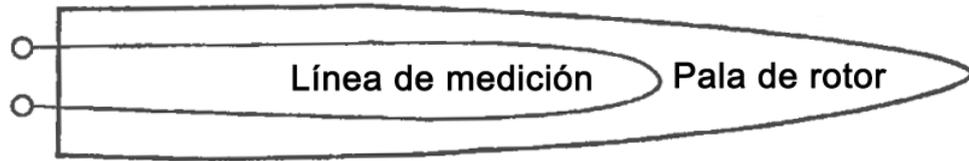


Fig.11

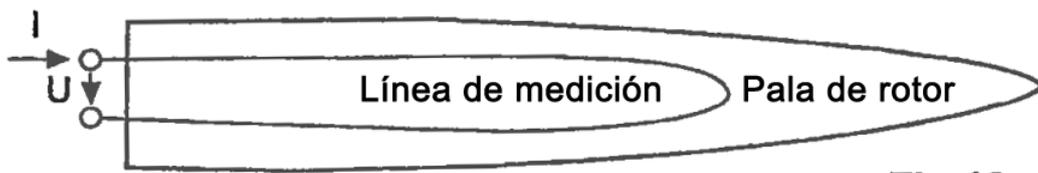
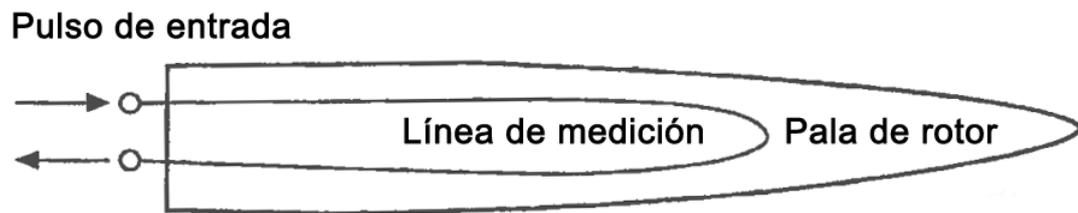


Fig.12



Pulso de salida

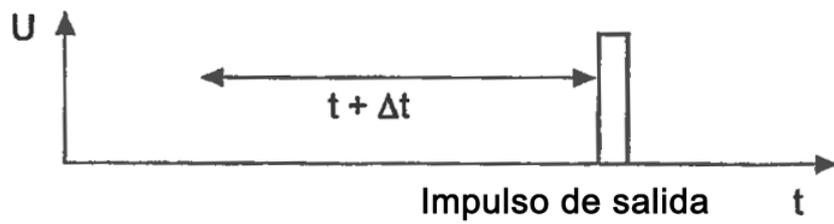
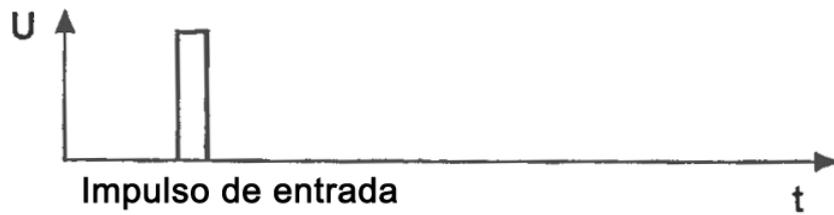


Fig.13

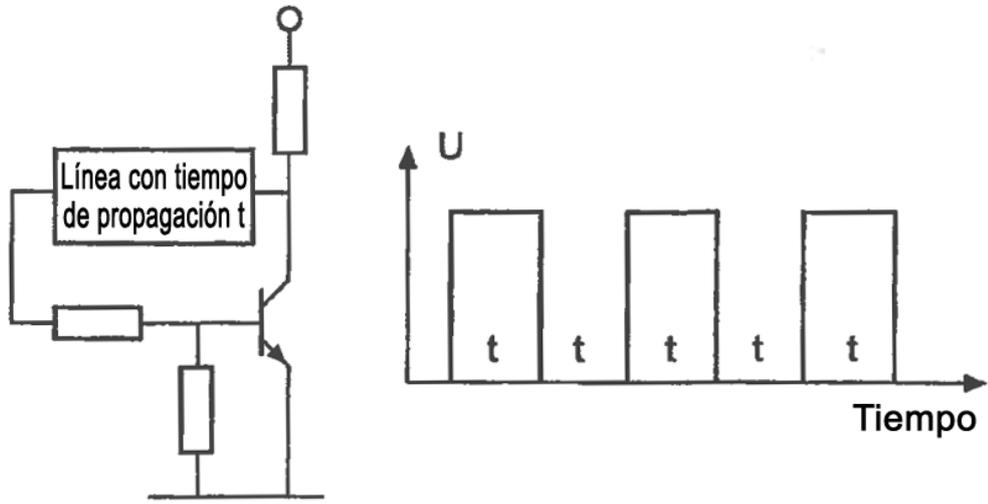


Fig.14

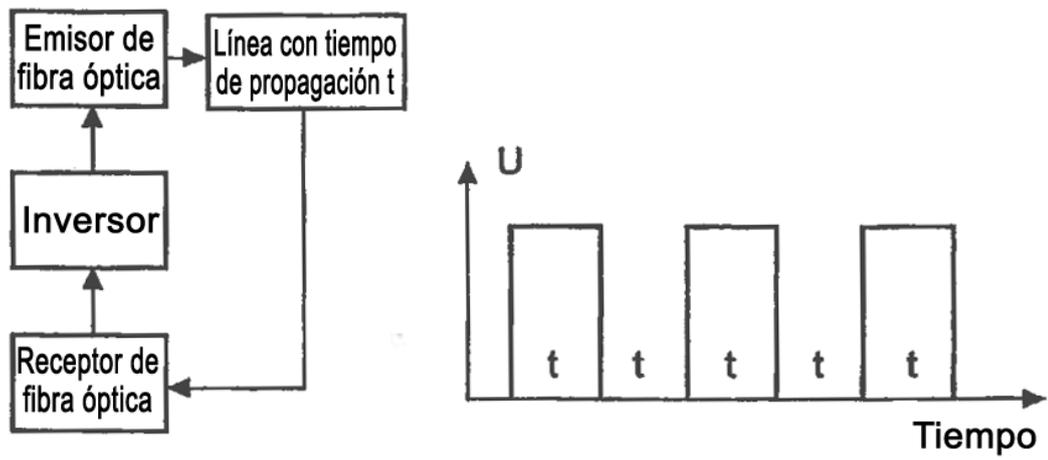


Fig.15