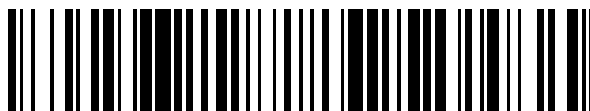


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 034**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2014** **E 14155357 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2018** **EP 2908008**

54 Título: **Instalación de energía eólica con una torre**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
21.03.2019

73 Titular/es:

NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE

72 Inventor/es:

KRUSE, NIELS y
GUTZEIT, FLORIAN

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 705 034 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

Instalación de energía eólica con una torre

5 La presente invención se refiere a una instalación de energía eólica con una torre.

Junto a las numerosas solicitudes, que se deben tener en cuenta para la torre de una instalación de energía eólica con vistas a la capacidad de carga y grado de usabilidad, las oscilaciones son un aspecto importante en particular en el caso de torres muy elevadas. Las oscilaciones se excitan durante el funcionamiento de una
10 instalación de energía eólica, cuando la velocidad de giro del rotor o su múltiplo entero se corresponde con una frecuencia propia de la torre. En las modernas instalaciones de energía eólica, que presentan un rotor con tres palas de rotor, tienen una importancia especial en particular el triple y el séxtuplo de la velocidad de giro del rotor, en lenguaje técnico también la denominada excitación 3p o 6p.

15 Durante cada vuelta del rotor cada pala de rotor recorre una vez el punto vertical más bajo y pasa delante de la torre y se produce una interacción aerodinámica con el aire detenido delante de la torre; de este modo se origina un momento de vuelco con una frecuencia que se corresponde en el caso de tres palas de rotor con el triple de la velocidad de giro de rotor (3p). Además, cada pala de rotor recorre durante cada vuelta una vez el punto vertical más superior; de este modo se origina igualmente un momento de vuelco. Debido a la combinación de los dos se
20 produce la excitación con el séxtuplo de la velocidad de giro del rotor (6p).

La primera y la segunda frecuencia propia de la instalación de energía eólica tienen una importancia especial.

Una frecuencia propia de un sistema oscilatorio es una frecuencia con la que puede oscilar el sistema tras una única
25 excitación como forma propia. Cuando en un sistema semejante se fuerzan oscilaciones desde fuera, cuya frecuencia concuerda con la frecuencia propia, el sistema reacciona con amplitudes especialmente grandes con amortiguación débil, lo que se designa como resonancia.

En el caso de torres elevadas la primera frecuencia propia se sitúa normalmente claramente por debajo de 0,5
30 hercios; las velocidades de giro correspondientes aparecen durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica sólo de forma breve y transitoria, de modo que no se produce una excitación permanente.

La segunda frecuencia propia se puede situar precisamente en el caso de torres elevadas en el rango en la que debido a una velocidad de giro de rotor que aparece en general durante el funcionamiento (o sus múltiplos enteros,
35 p. ej., 3p, 6p) aparece una excitación fuerte y duradera.

En el caso de torres más bajas la segunda frecuencia propia se sitúa la mayoría de las veces claramente por encima de un rango en la que aparecen fuertes excitaciones debido a una velocidad de giro de funcionamiento.

40 Por el documento DE 296 12 720 U1 se conoce una instalación de energía eólica cuya torre está configurado en su zona superior ensanchándose de nuevo.

Por el documento US 6,467,233 B1 se conoce una torre que presenta una zona inferior con un diámetro mayor y una zona superior con un diámetro más pequeño.

45 Por el documento US 7,997,876 B2 se conoce una instalación de energía eólica, cuya torre presenta en la zona de la punta de pala un diámetro reducido, a fin de evitar un contacto de la pala de rotor con la torre.

Por el documento WO 99/63219 A1 se conoce una instalación de energía eólica, cuya torre está provista en su zona
50 superior con un dispositivo de amortiguación activo.

Otros dispositivos de amortiguación están previstos para impedir oscilaciones de las palas de rotor.

Por el documento WO 01/71184 A1 se conoce una torre para una instalación de energía eólica que posee una
55 sección de torre que se estrecha hacia fuera con pared exterior abombada, convexa en sección longitudinal.

Por el documento WO 2008/000265 A1 se conoce una instalación de energía eólica, cuya torre presenta medios de modificación de carga a fin de optimizar activamente la frecuencia propia de torre.

60 El documento EP 2 672 012 A2 describe una estructura de conexión para la conexión de un pilote de cimentación de

una instalación de energía eólica offshore con su torre. La estructura de conexión posee un diámetro mayor que el pilote de cimentación, en donde el mástil que descansa sobre la estructura de conexión de la instalación de energía eólica se estrecha cónicamente.

- 5 Por el documento DE 30 07 442 A1 se conoce un dispositivo para el anclaje de estructuras elevadas en voladizo, en las que la estructura está apoyada en una cimentación con un apoyo articulado o está sujeta de forma elástica por encima de éste.

La invención tiene el objetivo de proporcionar una instalación de energía eólica con una torre, en la que se evita una
10 solicitación inadmisiblemente elevada de la construcción debido a una excitación en la segunda frecuencia propia.

Según la invención el objetivo se consigue mediante una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 1. Los objetos de las reivindicaciones dependientes constituyen configuraciones ventajosas.

- 15 La instalación de energía eólica según la invención presenta una torre, que en la zona de un vientre de oscilación en el caso de oscilaciones en la segunda frecuencia propia posee una sección en la que el radio está aumentado respecto a la secciones situadas por encima y por debajo. El vientre de oscilación es la zona de la curvatura más fuerte de la segunda forma propia. De este modo se modifica la segunda frecuencia propia hasta que las velocidades de giro que aparecen durante el funcionamiento normal de la instalación de energía eólica ya no pueden
20 provocar una excitación permanente de la segunda frecuencia propia. Es especialmente ventajoso que la primera frecuencia propia de la torre no se modifique o sólo un poco con el aumento por secciones del radio.

La invención se basa en el conocimiento de que las frecuencias propias de la torre dependen de la longitud, la masa y el radio. Pero mediante una modificación del radio en la zona del vientre de oscilación en el caso de la oscilación
25 con la segunda frecuencia propia se puede modificar ésta de forma dirigida.

La invención permite influir en la segunda frecuencia propia de la torre. A este respecto, la masa sólo se eleva ligeramente; en particular no es necesario aumentar el espesor de pared. Además sólo se influye muy poco en la primera frecuencia propia.

- 30 En una configuración preferida, la sección con el radio aumentado presenta una longitud que se corresponde al menos con el cuádruple, especialmente preferiblemente el décuplo del radio.

En otra configuración preferida está prevista una transición cónica entre la sección con radio aumentado y las
35 secciones de la torre situadas por encima o por debajo.

En una configuración preferida, al menos la sección con el radio aumentado presenta una zona cilíndrica circular con radio constante. Los radios a comparar entre sí de las secciones se refieren entonces a la zona cilíndrica circular con el radio constante.

- 40 En una configuración preferida, el segundo radio se selecciona al menos tan grande que la segunda frecuencia propia de la instalación de energía eólica se sitúe por encima de la frecuencia de excitación que aparece con la velocidad de giro nominal, es decir, la velocidad de giro con la que la instalación de energía eólica alcanza su potencia nominal. Un conocimiento de la invención consiste en que en el caso de un aumento del radio en la
45 segunda sección también se eleva la segunda frecuencia propia. Por consiguiente se lleva a un rango en el que ya no se sitúa en el rango de las frecuencias de excitación que aparecen con velocidades de giro de funcionamiento normales.

Convenientemente en el caso de las frecuencias propias u oscilaciones siempre se orienta hacia un sistema global
50 de una instalación de energía eólica con una torre, que está sobre una cimentación y porta una góndola equipada con el generador y rotor. Sólo en el caso de un sistema global de una instalación de energía eólica están presentes también los valores para la frecuencia propia y las excitaciones, según aparecen realmente durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica. Una torre exenta, que no está conectada por ejemplo con una cimentación o que no porta una góndola, puede poseer otro comportamiento de oscilación.

- 55 La invención se describe a continuación en detalle mediante las figuras. Muestran:

fig. 1 una forma de flexión de torre (forma propia) en el caso de una excitación con la primera frecuencia propia,

- 60 fig. 2 una forma de flexión de torre (forma propia) en el caso de una excitación con la segunda frecuencia propia,

fig. 3 un diagrama de Campbell,

fig. 4 un diseño de una torre según el estado de la técnica y según la invención y

Fig. 5 una instalación de energía eólica con una torre según la invención.

La fig. 1 muestra esquemáticamente la forma de flexión de torre (forma propia) en el caso de una excitación con la primera frecuencia propia. Según se puede reconocer en la fig. 1, la torre 10 está claramente desviada de la vertical 12, en donde con altura creciente aumenta el desvío 14.

La fig. 2 muestra en una representación esquemática una segunda forma de flexión de torre (forma propia), que aparece en el caso de una excitación con la segunda frecuencia propia. Según se puede reconocer en la fig. 2, en la torre 10 aparece aproximadamente a la mitad de la altura un vientre de oscilación 16, en cuya zona es mayor el desvío.

La fig. 3 muestra en un diagrama de Campbell las relaciones entre las frecuencias propias de la torre y las velocidades de giro del rotor que aparecen durante el funcionamiento de una instalación de energía eólica o sus múltiplos enteros. La abscisa muestra la velocidad de giro del rotor n , la ordenada muestra las frecuencias f .

Las líneas horizontales muestran: f_1 la primera frecuencia propia de una torre según el estado de la técnica; $f_{1,opt}$ la primera frecuencia propia de una torre según la invención; f_2 la segunda frecuencia propia de una torre según el estado de la técnica; $f_{2,opt}$ la segunda frecuencia propia de una torre según la invención.

Las líneas verticales muestran: n_1 una primera velocidad de giro del rotor que aparece durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica; n_2 una segunda velocidad de giro del rotor que aparece durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica, en particular la velocidad de giro nominal con la que la instalación de energía eólica alcanza precisamente su potencia nominal; en el rango entre n_1 y n_2 la instalación de energía eólica trabaja en la zona de carga parcial, en donde durante largos períodos de tiempo apenas aparecen modificaciones de la velocidad de giro más grandes.

Las líneas oblicuas muestran: p la excitación con la velocidad de giro del rotor, $3p$ la excitación con el triple de la velocidad de giro del rotor, $6p$ la excitación con el séxtuplo de la velocidad de giro del rotor. Para cada velocidad de giro del rotor representada sobre la abscisa se puede leer mediante las líneas p , $3p$, $6p$ sobre la ordenada la frecuencia correspondiente.

En cada punto de cruce 30, 32, 34 de una de las líneas p , $3p$, $6p$ con una de las líneas f_1 , $f_{1,opt}$, f_2 , $f_{2,opt}$ se produce una excitación en una frecuencia propia, de modo que la instalación de energía eólica puede entrar en resonancia, cuando la excitación perdura durante el tiempo suficiente. El cruce 30 entre la línea $6p$ y la línea f_2 se sitúa en el rango de velocidades de giro (n_1 , n_2), en el que la instalación de energía eólica trabaja con mucha frecuencia y mucho tiempo; de este modo en una torre según el estado de la técnica se producen fuertes oscilaciones de larga duración en la segunda frecuencia propia, lo que conduciría a un fuerte acortamiento de la vida útil de la torre.

En una torre según la invención la segunda frecuencia propia $f_{2,opt}$ es mayor y el punto de cruce 32 con la línea $6p$ está desplazado fuera del rango (n_1 , n_2) hacia la derecha hacia una velocidad de giro más elevada; de este modo ya no se produce una excitación frecuente y de larga duración.

La diferencia entre la primera frecuencia propia f_1 de la torre según el estado de la técnica y la primera frecuencia propia $f_{1,opt}$ de la torre según la invención se muy pequeña, el punto de cruce 34 entre la línea p y la línea $f_{1,opt}$ apenas está desplazado respecto a aquel con la línea f_1 y permanece a la izquierda fuera del rango (n_1 , n_2) en el caso de una velocidad de giro del rotor más baja, por lo que aquí tampoco se produce una excitación frecuente y de larga duración.

La fig. 4 muestra en un diagrama el diseño de una torre según la invención. La abscisa muestra la altura sobre la base, la ordenada muestra el radio de la torre que corresponde respectivamente a la altura. En el borde izquierdo la altura 0 se corresponde con el borde superior de la cimentación sobre la que se sitúa la torre.

En una sección inferior 40 hasta una altura determinada, la torre es cilíndrica con un radio de 2 m y por encima pasa en un cono 42 a un radio 44 más pequeño. Una torre según el estado de la técnica discurre con altura creciente, por ejemplo, de forma cilíndrica y en su zona superior (a la derecha en el diagrama) presenta una sección cónica 46, de

modo que el diámetro en la cabeza de torre 48 se corresponde con el diámetro de una conexión de giro, sobre la que la góndola de la instalación de energía eólica está montada de forma giratoria.

5 En la zona del vientre de oscilación de la segunda forma propia está prevista según la invención una sección 50 con un diámetro aumentado, representado a trazos en el diagrama. La sección 50 con el diámetro aumentado presenta preferiblemente por encima y por debajo respectivamente una transición cónica 52, 54.

10 La fig. 5 muestra una instalación de energía eólica con una torre según la invención. La torre está sobre una cimentación 60 y presenta en la zona del vientre de oscilación de la segunda forma propia una sección 50 con un diámetro más grande que la sección 44 situada por debajo y la sección 46 situada por encima. Entre las secciones 44 y 50 y 50 y 46 se sitúa respectivamente una transición cónica 52, 54. Sobre la cabeza de torre 48 la torre porta una góndola 62, en la que se sitúa un generador y en la que un rotor 64 con tres palas de rotor está montado de forma giratoria. El rotor 64 está conectado directamente o indirectamente con el generador en la góndola 62, de modo que la energía del viento se transforma en rotación mediante el viento y en energía eléctrica mediante el 15 generador. Una puerta 66 en la sección inferior 40 de la torre permite el acceso al interior de la instalación de energía eólica.

La torre según la invención puede estar hecha de acero o de hormigón o de otros materiales o sus combinaciones. En particular puede estar configurada como torre de tubo de acero o como torre de tubo de hormigón o como torre 20 híbrida con una sección de hormigón y una sección de tubo de acero.

REIVINDICACIONES

1. Instalación de energía eólica con una torre, que presenta una primera, una segunda y una tercera sección (44, 50, 46), que están dispuestas adyacentes entre sí unas sobre otras, en donde a la primera sección (44) está asociado un primer radio, a la segunda sección (50) un segundo radio y a la tercera sección (46) un tercer radio, **caracterizada porque** el segundo radio es mayor que el primer y el tercer radio y **porque** la segunda sección (50) se sitúa en la zona de un vientre de oscilación (16) de una oscilación de la torre con una segunda frecuencia propia.
- 10 2. Instalación de energía eólica con una torre según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la segunda sección (50) presenta una longitud que se corresponde con al menos el cuádruple, preferiblemente el décuplo del segundo radio.
3. Instalación de energía eólica con una torre según una de las reivindicaciones anteriores,
15 **caracterizada porque** la segunda sección (50) presenta una zona cilíndrica circular con radio constante.
4. Instalación de energía eólica con una torre según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** cada sección (44, 50, 46) presenta una zona cilíndrica circular con radio constante.
- 20 5. Instalación de energía eólica con una torre según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** entre la primera y la segunda sección y/o entre la segunda y la tercera sección está prevista respectivamente una zona de transición (52, 54).
6. Instalación de energía eólica con una torre según una de las reivindicaciones anteriores,
25 **caracterizada porque** el segundo radio se selecciona al menos tan grande que la segunda frecuencia propia se sitúa por encima de la frecuencia de excitación que aparece en el caso de una velocidad de giro nominal de la instalación de energía eólica.
7. Instalación de energía eólica con una torre según una de las reivindicaciones anteriores,
30 **caracterizada porque** la torre está sobre una cimentación (60) y porta una góndola (62) equipada con el generador y rotor (64).

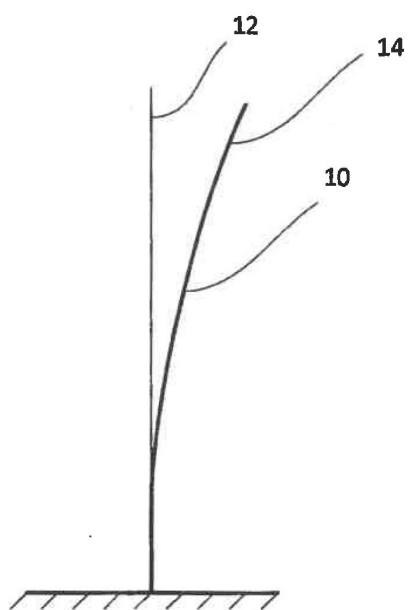


Fig. 1

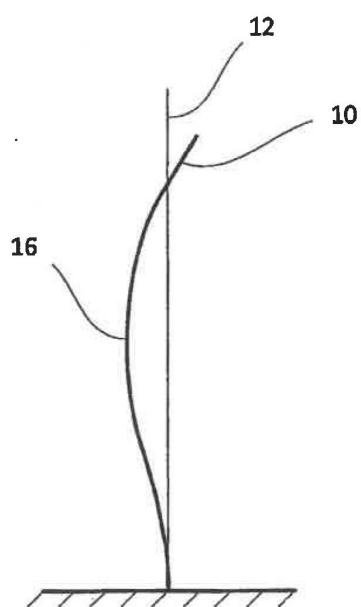


Fig. 2

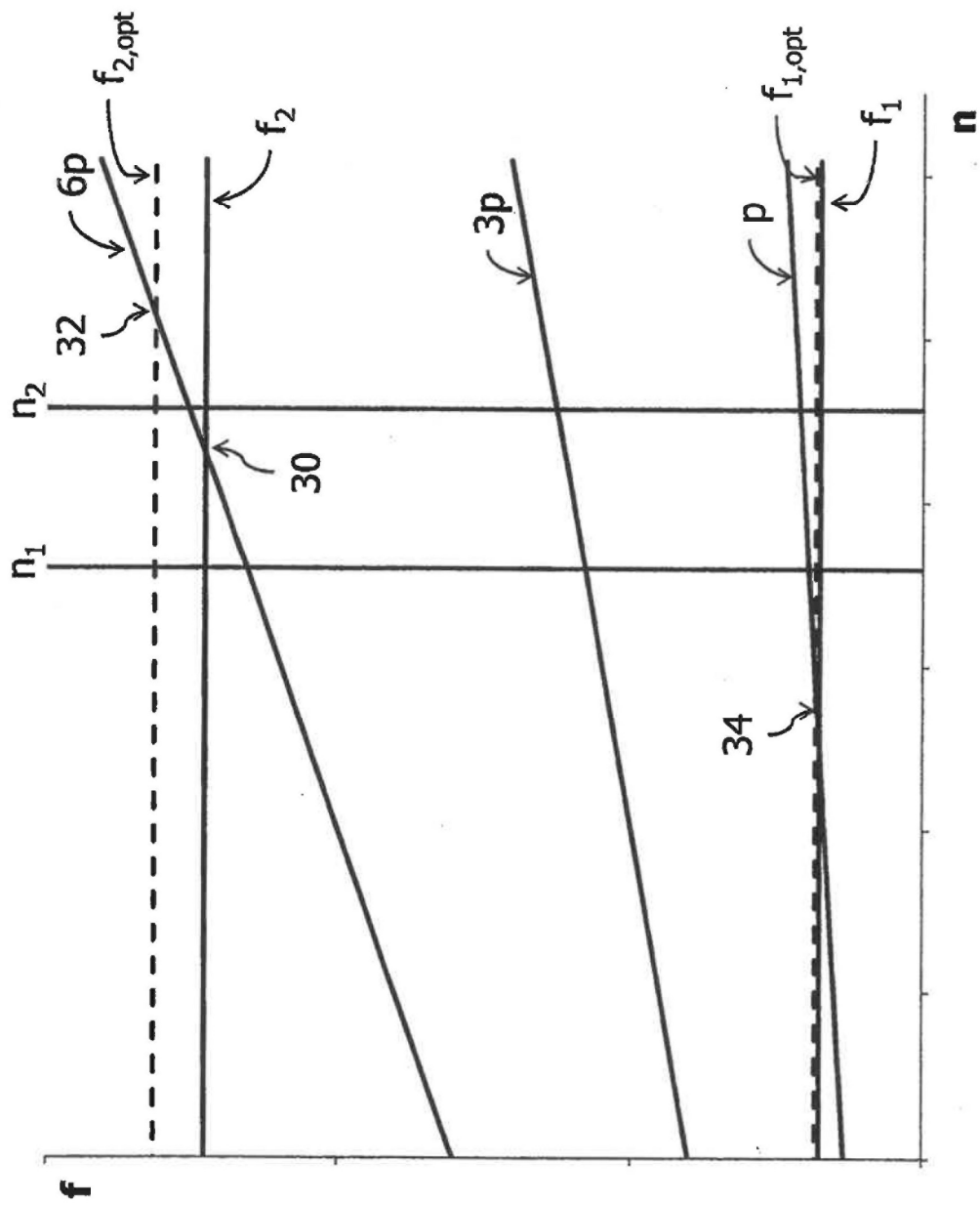


Fig. 3

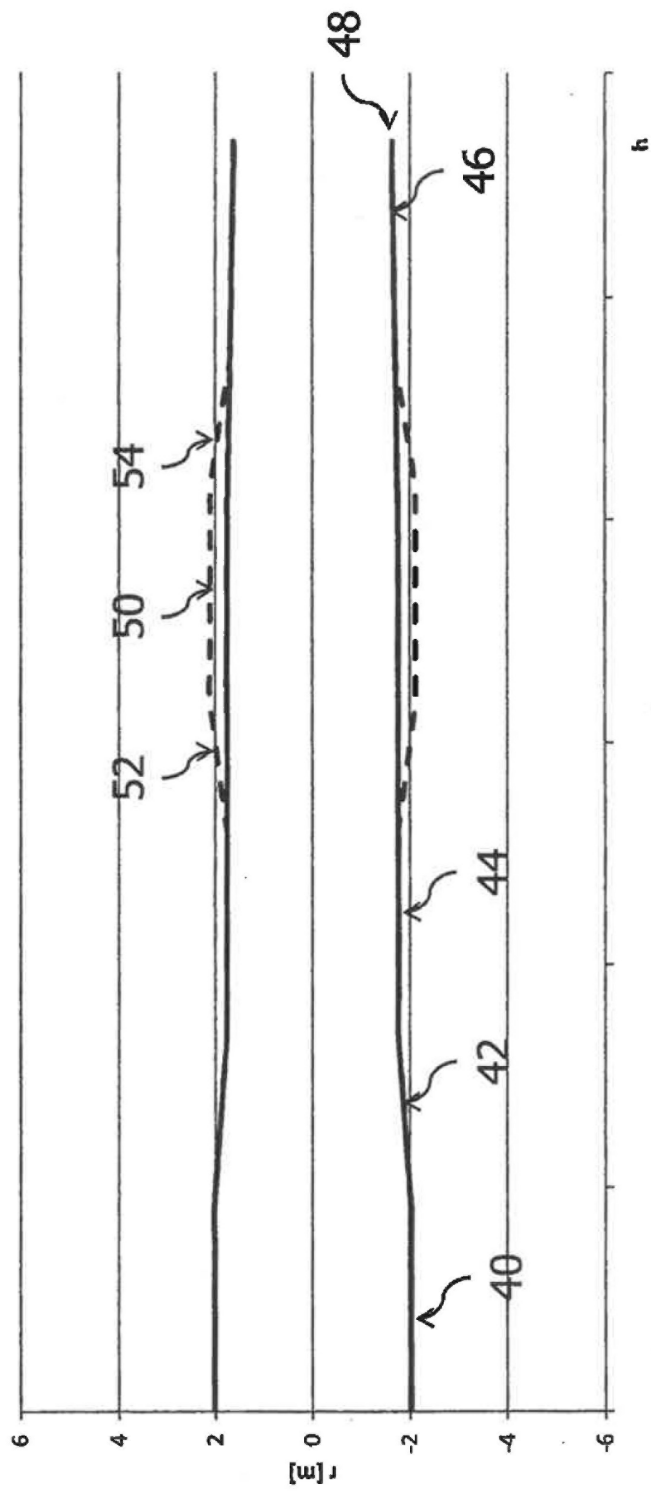


Fig. 4

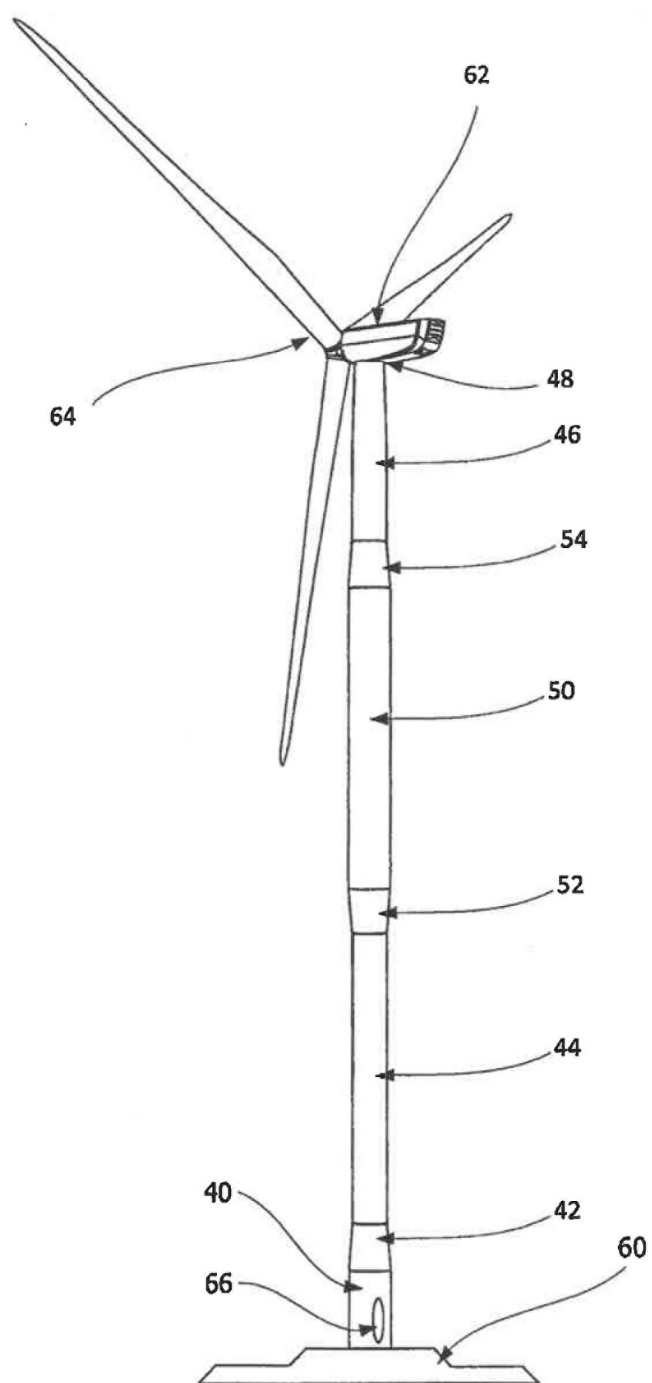


Fig. 5