

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 191**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

E04B 1/98 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 13/20 (2006.01)

F03D 13/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.01.2016 E 16150541 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 3048295**

54 Título: **Procedimiento para el montaje de un aerogenerador y aerogenerador**

30 Prioridad:

26.01.2015 DE 102015000788

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

07.02.2019

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

SEIDEL, MARC

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 699 191 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

Procedimiento para el montaje de un aerogenerador y aerogenerador

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para el montaje de un aerogenerador con una torre y con una sala de máquinas dispuesta en la parte superior de la torre, montándose en primer lugar una estructura en bruto de torre, colocándose en una fase de estructura en bruto de torre, en la que aún no se ha instalado ninguna sala de máquinas en la estructura en bruto de torre, en un estado de estructura en bruto de torre o en varios estados de estructura en bruto de torre, una o varias secciones de torre formando, en caso de varias secciones de torre, una estructura en bruto de torre que aumenta de tamaño con cada sección de torre hasta alcanzar una altura final de estructura en bruto de torre, instalándose, después del montaje completo de la estructura en bruto de torre a partir de todas las secciones de torre, la sala de máquinas en la parte superior de la estructura en bruto de torre y uniéndose con posibilidad de giro a la estructura en bruto de torre. La invención se refiere además a un aerogenerador correspondiente.
- 10 Los aerogeneradores modernos comprenden una torre alta con un eje longitudinal vertical, compuesta a menudo de varias secciones de torre, en cuya parte superior se alojan, de forma giratoria alrededor del eje de torre, una sala de máquinas o una góndola con un rotor con varias palas de rotor y con un eje de rotor horizontal.
- 15 Las torres de los aerogeneradores terrestres se construyen normalmente por secciones a partir de varias secciones y directamente in situ en la obra sobre cimientos. En la mayoría de los casos, las secciones de la torre para los aerogeneradores de este tipo se transportan al punto de edificación en posición horizontal. En la construcción de una torre de un aerogenerador, las generalmente varias secciones de torre se desplazan sucesivamente de su posición horizontal a una posición vertical con la ayuda de un dispositivo de elevación y se colocan sobre unos cimientos, una cimentación auxiliar o un punto de sujeción y/o una sección de torre montada en último lugar y se unen al mismo o a los mismos. El eje longitudinal de torre se desplaza de una orientación horizontal a una orientación vertical.
- 20 Por el contrario, las torres para aerogeneradores marinos se construyen preferiblemente por secciones sobre cimientos auxiliares en el puerto de embarque. A continuación, las torres o las secciones de torre montadas verticalmente y listas para el transporte se cargan en un buque de construcción en el puerto y se fijan allí en unos cimientos auxiliares a modo de rejillas de soporte para el transporte, los así llamados "enrejados". Por motivos de espacio, las torres marinas se transportan preferiblemente en posición vertical. La sala de máquinas, denominada góndola, se fija en la torre sólo después de que ésta se haya montado por completo.
- 25 En el caso de las torres de aerogenerador se trata de componentes muy propensos a las vibraciones. Sin embargo, una torre independiente sin góndola presenta en este caso una frecuencia natural claramente diferente que la de una torre con una sala de máquinas y un rotor dispuestos en la parte superior.
- 30 Durante la construcción de un aerogenerador esto significa que una torre independiente y sin góndola o una estructura en bruto de torre, que todavía no está sometida a carga en su parte superior con el peso de la sala de máquinas, vibran a una frecuencia más alta que después de la colocación de la sala de máquinas.
- 35 Cada estructura, ya sea un aerogenerador o una torre de aerogenerador, reacciona a la excitación exterior, por ejemplo, como consecuencia del viento o de las olas, en una frecuencia determinada con oscilaciones propias en dependencia de la frecuencia de la excitación. Además, cada estructura tiene las así llamadas frecuencias naturales. Éstas son las frecuencias en las que el sistema oscila cuando se desvía y funciona de forma autónoma. Para los aerogeneradores resulta de especial relevancia la primera frecuencia natural, cuya primera forma propia correspondiente se compone fundamentalmente de una deformación por flexión de la torre. Por este motivo, también se denomina "primera frecuencia natural de flexión". La forma propia correspondiente es la "primera forma propia de flexión". Esta frecuencia varía cuando se añaden más componentes, por ejemplo, cuando una torre de aerogenerador se hace más alta. Por lo tanto, depende considerablemente del estado de construcción.
- 40 En el marco de la presente invención, el término frecuencia natural abarca en el contexto respectivo la frecuencia natural de una torre de aerogenerador como tal o la frecuencia natural de una combinación de torre y cimientos o sujeción (auxiliar), es decir, fundamentalmente la frecuencia natural de la torre fijada o sujeta por un lado.
- 45 Una excitación de vibración se vuelve particularmente crítica si ésta se superpone en la gama de frecuencia con la frecuencia natural de la estructura, dando lugar, por consiguiente, a vibraciones de resonancia que pueden destruir la estructura.
- 50 Principalmente el viento que incide hace vibrar los aerogeneradores. En instalaciones terminadas y puestas en servicio, las vibraciones de la torre se producen sobre todo como reacción a la carga del rotor a través del viento. En caso de aerogeneradores marinos es preciso tener en cuenta además la excitación del movimiento del mar en forma de olas que chocan.
- 55 La causa principal de las vibraciones en las estructuras en bruto de torre independientes son las separaciones de vórtices, los así llamados vórtices de Karman, que dan lugar a vibraciones transversales inducidas por vórtices (WEQ o "vibraciones inducidas por vórtices" - VIV). En este caso se trata de una secuencia de separaciones de

vórtice del viento o del campo de viento que fluye alrededor de la torre, alternativamente en el lado izquierdo y en el lado derecho de la torre visto en la dirección del viento. La vibración de la torre y las separaciones de vórtice se refuerzan mutuamente. Después de la instalación de la sala de máquinas y de la puesta en marcha del aerogenerador, la frecuencia natural de la torre cambia de manera que las WEQ sólo se superpongan con la frecuencia natural de la torre a velocidades de viento bajas, siendo éstas, por lo tanto, menos críticas. Las vibraciones de la torre se producen sobre todo como reacción a la carga del rotor por medio del viento, así como, en caso de aerogeneradores marinos, adicionalmente como consecuencia de la excitación de las olas.

En principio, las frecuencias propias de las torres sin góndola son más altas que las de las instalaciones montadas por completo. En tal caso, existen condiciones en las que las excitaciones a través de los vórtices de Karman a velocidades de viento frecuentes inducen las WEQ. Por lo tanto, las amplitudes de las vibraciones son mayores, de manera que las cargas mecánicas y estructurales sobre las torres de aerogenerador aumenten de forma correspondiente.

Dado que las WEQ se producen a velocidades de viento determinadas y a frecuencias correspondientes de la separación de vórtice recíproca, las torres de aerogeneradores en estado de estructura en bruto, sin una sala de máquinas montada, deben asegurarse a partir de una longitud determinada, por ejemplo, mediante arriostramientos, o es preciso tomar medidas para evitar las separaciones de vórtice. En caso contrario, las WEQ pueden dar lugar a la destrucción de la torre. Por debajo de una longitud crítica, este peligro no existe o sólo existe en una medida fundamentalmente menor, dado que las frecuencias propias de los conos truncados de torre más cortos con pocas secciones de torre se encuentran en una gama de frecuencias más alta, cuyas altas velocidades de viento correspondientes no se tienen que esperar de un modo realista.

Una velocidad de viento crítica a la que las vibraciones transversales excitadas por el vórtice son peligrosas para la estructura en bruto de torre es normalmente de entre 10 m/s y 25 m/s para una torre sin góndola completamente construida, en dependencia de su altura y de su rigidez, por lo que no se permite una construcción si se esperan estas velocidades de viento y si la góndola no se puede arrastrar directamente después de la elevación de la última sección de torre.

En el montaje de un aerogenerador, esta circunstancia se tiene en cuenta por el hecho de que la última sección de torre o, en su caso, las últimas secciones de torre y la sala de máquinas se instalan o montan en la torre en una ventana climática con unas condiciones meteorológicas tranquilas, preferiblemente a velocidades de viento de 9 m/s como máximo. Estas ventanas climáticas deben durar al menos algunas horas o días. Por esta razón, la espera de una ventana climática adecuada puede retrasar considerablemente la construcción de un aerogenerador y causar, por consiguiente, costes elevados.

Las consecuencias del problema de las vibraciones se sienten con más fuerza en el mar que en tierra, debido a que los vientos medios en el mar son más fuertes. A diferencia de la construcción por secciones de las torres terrestres, las torres marinas ya se montan, por regla general, en el puerto a partir de varias secciones de torre con un eje longitudinal colocado perpendicularmente y, por razones de espacio, se transportan preferiblemente en posición vertical en un buque de construcción. Durante el transporte, las torres o las secciones de torre están expuestas a una excitación del viento o de las olas. Las WEQ ya pueden aparecer aquí. Además, las ventanas climáticas adecuadas para la construcción en el mar son más cortas debido a que, en general, las velocidades del viento son más estables y más altas, de manera que normalmente es necesario esperar más tiempo que en tierra para obtener una ventana climática adecuada para la construcción, lo que, a su vez, implica unos costes adicionales proporcionalmente elevados para la obra en el mar.

Durante el transporte en un barco de construcción, el viento relativo puede aumentar adicionalmente el viento ya reinante, de manera que las WEQ se pueden producir aún con más intensidad. Además se puede provocar una vibración de una torre o de una sección de torre como consecuencia de los movimientos de balanceo del barco causados por el oleaje. Los buques de construcción no suelen estar equipados con sus propios amortiguadores de momento de balanceo de líquido que amortiguan estos movimientos de balanceo, especialmente porque la carga con las torres verticales o las secciones de torre desplazaría la frecuencia de balanceo de manera que un amortiguador de este tipo tendría poco efecto. El movimiento de balanceo también da lugar a una cierta corriente de aire en la parte superior de las torres o de las secciones de torre.

En la actualidad, las torres para aerogeneradores marinos se transportan generalmente en dos secciones premontadas que se colocan y unen a continuación en dos elevaciones sucesivamente sobre una estructura de cimentación en el mar o en la sección de torre inferior. Como consecuencia del transporte de torre dividido, las velocidades de viento críticas para la excitación por las WEQ para la sección inferior son tan altas que no se producen en una medida crítica.

Sin embargo, si se pretende instalar torres completas para acortar el tiempo de los trabajos en el mar, las velocidades de viento críticas son inferiores a 20 m/s debido a la mayor altura de la torre, por lo que pueden producirse de forma realista. En este caso, es preciso tomar urgentemente medidas contra las WEQ.

Dado que, por regla general, las torres para aerogeneradores marinos se instalan previamente en el puerto formando una estructura en bruto de torre vertical y/o se transportan en posición vertical en un buque de instalación, éstas hasta ahora se aseguraban, debido a las WEQ, mediante arriostramientos a partir de una longitud determinada o se montaban de forma temporal hélices en la zona de torre superior para evitar o suprimir la separación de vórtice

como se conoce, por ejemplo, por el documento WO 2006/106162 A2 o por el documento EP 1 881 195 A1. No obstante, el uso práctico de hélices requiere el cumplimiento de determinados criterios en cuanto al grosor de las hélices, así como al paso del devanado. El esfuerzo para la instalación y desinstalación de estas hélices en el mar es considerable.

- 5 Por el documento WO 2008/000265 A1 se conoce un sistema de tensado interno de la torre con el que se puede adaptar la rigidez de la torre de acuerdo con el avance de la construcción, a fin de evitar que la frecuencia natural de la torre descienda demasiado.

Incluso los amortiguadores de vibraciones que permanecen temporalmente en la parte superior de la torre ya fueron propuestos, por ejemplo, en el documento WO 2014/040598 A1, según el cual varios sacos de arena se disponen de forma oscilante respectivamente en la zona superior de la sección de torre respectivamente más alta.

10 En el documento US 2012/063915 A1 se revela un aerogenerador con un amortiguador de vibraciones suspendido de un puntal de un segmento de torre en forma de un amortiguador de péndulo con una varilla vibratoria cargada con peso. El documento US 2012/0267207 A1 revela un aerogenerador con un dispositivo de control de vibraciones con un sistema de vibración del tipo de un péndulo invertido.

- 15 Por el contrario, la presente invención se basa en la tarea de simplificar aún más la construcción de un aerogenerador y de configurarlo más seguro.

Esta tarea se resuelve mediante un procedimiento para la construcción de un aerogenerador con una torre y con una sala de máquinas dispuesta en la parte superior de la torre, construyéndose en primer lugar una estructura en bruto de torre, colocándose en una fase de estructura en bruto de torre, en la que aún no se ha instalado ninguna sala de máquinas en la estructura en bruto de torre, en un estado de estructura en bruto de torre o en varios estados de estructura en bruto de torre, una o varias secciones de torre formando, en caso de varias secciones de torre, una estructura en bruto de torre que aumenta de tamaño con cada sección de torre hasta alcanzar una altura final de estructura en bruto de torre, instalándose, después del montaje completo de la estructura en bruto de torre a partir de todas las secciones de torre, la sala de máquinas en la parte superior de la estructura en bruto de torre y uniéndose con posibilidad de giro a la estructura en bruto de torre, disponiéndose al menos un amortiguador de vibraciones configurado como amortiguador de péndulo en una sección de torre colocada en último lugar para la finalización de la estructura en bruto de torre, cuya frecuencia de amortiguación se adapta a una primera frecuencia de vibración básica de la estructura en bruto de torre sin sala de máquinas montada, permaneciendo el al menos un amortiguador de péndulo en la torre después del montaje de la sala de máquinas en la estructura en bruto de torre y adaptándose o habiéndose adaptado la frecuencia de amortiguación del al menos un amortiguador de péndulo a una segunda frecuencia de vibración básica del aerogenerador completamente montado, que se perfecciona por el hecho de que, durante la construcción de la estructura en bruto de torre se aumenta la longitud del péndulo para adaptar la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo, ajustándose la longitud del péndulo mediante el pandeo en los soportes o en una plataforma provisional de la torre o mediante la fijación de eslabones de cadena.

Un amortiguador de vibraciones extrae energía de la vibración de la torre que fluye hacia la vibración de una masa suspendida de forma móvil o apoyada de forma oscilante en relación con la torre. En el caso de la masa oscilante se puede tratar de una masa de péndulo o de una masa suspendida de resortes. En un caso ideal, la vibración de la masa oscilante a una frecuencia determinada, que corresponde o se aproxima a un primer modo de flexión o a una forma propia de flexión de una torre, de un cono truncado de torre o de una sección de torre, presenta un desplazamiento de fase de 180° con respecto a la vibración de la propia torre. De este modo, la energía de vibración derivada de la torre al amortiguador de vibraciones y la correspondiente amortiguación de la vibración de la torre son máximas. Por encima y por debajo de la frecuencia máxima de amortiguación, el desplazamiento de fase es superior o inferior a 180°, de manera que el efecto de amortiguación disminuya.

45 Los términos frecuencia de amortiguación, frecuencia natural y frecuencia de vibración básica aquí utilizados tienen, en el marco de la presente solicitud de patente, los siguientes significados. Los cuerpos oscilantes como, por ejemplo, una torre descargada o un cono truncado de torre sin amortiguador de vibraciones, poseen diferentes frecuencias naturales para diferentes modos de flexión o formas propias de flexión. La primera forma propia de flexión de una torre erigida verticalmente y fijada por su extremo inferior no tiene nodos de vibración, mientras que las formas propias de flexión más altas presentan uno, dos o más nodos de vibración. Éstos presentan frecuencias naturales cada vez más altas y en la realidad se excitan cada vez menos con un número ordinal creciente. Técnicamente, el más significativo es el primer modo propio de flexión que presenta la frecuencia natural más baja y que en el marco de la presente solicitud se denomina, por consiguiente, frecuencia de vibración básica.

50 Un amortiguador de vibraciones tiene sus propias frecuencias naturales. La, preferiblemente primera o la frecuencia natural más baja de la vibración del amortiguador de vibraciones se elige con preferencia igual o próxima a la frecuencia de vibración básica de la torre, es decir, la frecuencia natural de la primera forma propia de flexión de la torre.

Por el contrario, la frecuencia de amortiguación es una propiedad del sistema acoplado entre torre y amortiguador de vibraciones. En el sistema acoplado resulta un espectro de amortiguación con una amortiguación máxima a una frecuencia determinada y una amortiguación decreciente por encima y por debajo de esta frecuencia de amortiguación máxima. En el marco de la presente solicitud, la frecuencia de la amortiguación máxima se denomina

frecuencia de amortiguación. Este sistema acoplado tiene frecuencias naturales propias, entre otras, la frecuencia de amortiguación, que son próximas, pero no idénticas, a las frecuencias naturales de los componentes desacoplados. Por este motivo, un amortiguador de vibraciones instalado en una torre no vibra con su propia frecuencia natural en caso de una amortiguación máxima.

- 5 Por consiguiente, el ajuste de la frecuencia natural del amortiguador de vibraciones también tiene como consecuencia directamente un ajuste de la frecuencia de amortiguación, es decir, un desplazamiento del espectro de amortiguación.

A diferencia del estado de la técnica, el o los amortiguadores de vibraciones utilizado(s) para el estado de estructura en bruto de torre permanece o permanecen en el aerogenerador acabado en la sección de torre superior o en la torre por debajo de la sala de máquinas. En este caso, el o los amortiguadores de vibraciones se configura(n) de manera que las frecuencias de amortiguación del amortiguador de vibraciones o de los amortiguadores de vibraciones se puedan adaptar a las distintas vibraciones básicas que se producen en una estructura en bruto de torre sin góndola y en un aerogenerador completo. Estas frecuencias de vibración difieren entre la estructura en bruto y el aerogenerador montado por completo en factores en el rango de entre 2 y 10, en función del tipo de aerogenerador. Por lo tanto, las frecuencias naturales de torre se sitúan entre 0,2 Hz y 1 Hz en estado de construcción, es decir, en la estructura en bruto de torre, pero entre 0,1 Hz y 0,3 Hz en estado final. Un cambio como este requiere una gran capacidad de configuración y de modificación del amortiguador de vibraciones o de los amortiguadores de vibraciones.

- 20 Por el estado de la técnica también se conocen amortiguadores de vibración para el estado final del aerogenerador. Sin embargo, en éstos la masa del amortiguador y la frecuencia natural no se adaptan al estado de estructura en bruto de torre.

En el marco de la presente invención también pueden utilizarse varios amortiguadores de vibración con la misma frecuencia natural o con frecuencias naturales diferentes.

- 25 Gracias al procedimiento según la invención es posible dejar el amortiguador de vibraciones, ya utilizado en el estado de construcción, en la sección de torre superior con modificaciones sólo reducidas, de manera que ya no sea necesario un desmontaje del amortiguador de vibraciones de la sección de torre superior antes o después de la instalación de la sala de máquinas. Además de este modo se mejoran la estabilidad del aerogenerador y, por consiguiente, la resistencia y la fiabilidad operativa del aerogenerador. Las cargas estructurales máximas a esperar en la torre del aerogenerador se reducen como consecuencia de la amortiguación de vibraciones ya en la fase de estructura en bruto de torre, de manera que la torre se pueda construir más ligera y económica. Por el contrario, también es posible modificar los amortiguadores de vibraciones diseñados para el funcionamiento normal sólo para el estado de construcción y eliminar de nuevo esta modificación para el estado final del aerogenerador.

- 35 En un perfeccionamiento ventajoso, la adaptación de la frecuencia natural del al menos un amortiguador de vibraciones a la frecuencia de vibración básica del aerogenerador completamente montado se lleva a cabo después o poco antes de la colocación de la sala de máquinas en la torre o en la estructura en bruto de torre. Este paso del procedimiento se completa en poco tiempo, en la mayoría de los casos en menos de una hora, de manera que también ventanas de tiempo o ventanas climáticas relativamente cortas permitan este paso de trabajo. Dado que la colocación de la sala de máquinas ya da lugar a una supresión de las WEQ, la adaptación del amortiguador de vibraciones se produce preferiblemente después de la colocación de la sala de máquinas, de modo que no se produzca ninguna ventana de tiempo crítica con un amortiguador de vibraciones no adaptado en la estructura en bruto de torre propensa a las WEQ.

- 40 Con preferencia, la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo entre al menos una primera frecuencia en la gama de 0,2 a 1 Hz y al menos una segunda frecuencia en la gama de 0,1 a 0,3 Hz se puede variar, diferenciándose la primera frecuencia y la segunda frecuencia entre sí en un factor de 2 o más, especialmente en al menos un factor 3. Por medio del factor se puentea eficazmente la diferencia entre las frecuencias de vibración básicas de la torre en el estado de estructura en bruto y después de la colocación de la sala de máquinas.

El al menos un amortiguador de vibraciones se configura ventajosamente como amortiguador de péndulo en combinación con resortes en la masa de péndulo y/o con una amortiguación de péndulo viscosa. También ventajosamente se prevén varios amortiguadores de vibraciones del mismo tipo o de tipos diferentes.

- 50 Los amortiguadores de péndulo presentan masas suspendidas en cables verticales o cadenas que pendulan en función de su longitud de péndulo con su frecuencia de vibración propia. Los amortiguadores de masa-resorte y los amortiguadores de péndulo pueden pendular libremente o girar en un líquido viscoso, de manera que se amortigüe el movimiento pendular. La masa de péndulo también se puede suspender lateralmente con resortes y representar así una forma mixta de amortiguadores de péndulo y amortiguadores de masa-resorte.

- 55 Para el empleo en secciones de torre o torres, los amortiguadores de vibraciones con poca extensión vertical ofrecen la ventaja de ocupar poco espacio. Los péndulos no amortiguados sólo resultan apropiados de forma condicionada, dado que para una frecuencia de 0,2 Hz, por ejemplo, ya se necesita una longitud de péndulo de más de 6 m, y en caso de 0,1 Hz de aproximadamente 25 m. La longitud de péndulo necesaria se reduce cuando la masa de péndulo es amortiguada por un líquido viscoso, es decir, por medio de una amortiguación de péndulo viscosa.

Una combinación de resortes en la masa de péndulo y una amortiguación de péndulo viscosa puede consistir, por ejemplo, en el marco de la presente invención, en que en el estado de estructura en bruto de la torre, la masa de péndulo se configura en primer lugar de forma pendular y se sujeta con resortes, suprimiéndose los resortes con el aumento de la altura de la estructura en bruto de torre para modificar la frecuencia de péndulo e instalándose en la última sección, para conseguir la frecuencia de vibración básica del aerogenerador completo, un baño de amortiguación con líquido viscoso. Alternativamente, el baño de amortiguación con líquido viscoso ya puede estar previsto y mantenerse a una profundidad de inmersión respectivamente igual o acercarse con cada sección más a la masa de péndulo, de manera que una parte que se sumerge en el líquido viscoso experimente con cada elevación a otra sección de torre una resistencia creciente y se frene así con mayor intensidad. También es posible el caso inverso. Por consiguiente, el aumento o la reducción de la disipación de energía se pueden ajustar individualmente con el aumento de la altura de la torre. Esto se puede combinar con una suspensión elástica, aunque también sea posible prescindir de la misma.

Preferiblemente, el amortiguador de vibraciones comprende una amortiguación viscosa. Este es el caso en amortiguadores de líquido, como el amortiguador de traqueteo o el caso inherente al TLCD, dado que el líquido oscilante presenta una viscosidad, produciéndose, por lo tanto, una disipación de energía. En el caso del amortiguador de masa-resorte y del amortiguador de péndulo se produce con una amortiguación viscosa una disipación de energía de la manera antes descrita mediante agitación en un líquido viscoso.

En el caso de que se utilice un amortiguador de péndulo en combinación con resortes en la masa de péndulo se prevé preferiblemente que en el transcurso de la construcción de la estructura en bruto de la torre, para la adaptación de la frecuencia natural del al menos un amortiguador, se reduzca el número de resortes y/o que los resortes utilizados se sustituyan por resortes con una menor fuerza elástica.

En el amortiguador de péndulo se aumenta según la invención en el transcurso de la construcción de la estructura en bruto de la torre, para la adaptación de la frecuencia natural del al menos un amortiguador, la longitud de péndulo, ajustándose la longitud de péndulo mediante pandeo en los soportes dispuestos en la pared de la torre o suspendidos en una plataforma de la torre o mediante fijación de eslabones de cadena.

En el marco de la invención se pueden combinar entre sí diferentes tipos de amortiguadores de vibraciones, es decir, diferentes amortiguadores de líquido, amortiguadores de masa-resorte y amortiguadores de péndulo, amortiguados o no amortiguados.

Ventajosamente, las frecuencias de vibración básicas de una estructura en bruto de torre se calculan o determinan en al menos un estado de estructura en bruto de torre o en el aerogenerador construido por completo ya antes del comienzo de la construcción del aerogenerador, adaptándose las frecuencias naturales del al menos un amortiguador de péndulo a las mismas.

La tarea en la que se basa la invención se resuelve también por medio de un amortiguador de vibraciones para un aerogenerador que se puede fijar en una sección de torre colocada en último lugar para terminar la estructura en bruto de la torre, pudiéndose adaptar una frecuencia natural del amortiguador de vibraciones a una primera frecuencia de vibración básica de una estructura en bruto de torre del aerogenerador sin la sala de máquinas montada y a una segunda frecuencia de vibración básica del aerogenerador con la sala de máquinas montada, pudiéndose variar especialmente la frecuencia natural del al menos un amortiguador de vibraciones entre al menos una primera frecuencia en la gama de 0,2 a 1 Hz y en al menos una segunda frecuencia en la gama de 0,1 a 0,3 Hz, diferenciándose la primera frecuencia y la segunda frecuencia entre sí en un factor de 2 o más, especialmente en al menos un factor 3, configurándose el amortiguador de vibraciones como amortiguador de péndulo, especialmente como amortiguador de péndulo en combinación con resortes en la masa de péndulo, en especial con amortiguación viscosa, aumentándose o reduciéndose la longitud de péndulo para la adaptación de la frecuencia natural en un amortiguador de péndulo, ajustándose la longitud de péndulo mediante pandeo en los soportes o en una plataforma provisional de la torre o mediante fijación de eslabones de cadena. La amortiguación viscosa resulta, tal como se ha descrito anteriormente en relación con el procedimiento según la invención, como consecuencia del tipo de amortiguador como amortiguador de líquido con amortiguación viscosa inherente o mediante agitación de una parte de la masa oscilante o mediante un cuerpo de inmersión que se separa en un líquido viscoso.

Preferiblemente, para la adaptación de la frecuencia natural en un amortiguador de péndulo en combinación con resortes en la masa de péndulo, el número de resorte se reduce o se aumenta y/o los resortes empleados se sustituyen por resortes con una fuerza elástica menor o mayor.

Para la adaptación de la frecuencia natural en un amortiguador de péndulo, la longitud de péndulo (L_1 , L_2) se aumenta o se reduce según la invención, ajustándose la longitud de péndulo (L_1 , L_2) mediante pandeo en soportes o en una plataforma provisional de la torre o mediante fijación de eslabones de cadena.

Las medidas indicadas en relación con los tipos de amortiguadores para la reducción de la frecuencia natural se pueden invertir ventajosamente para volver a aumentar la frecuencia natural.

La tarea en la que se basa la invención también se resuelve por medio de un aerogenerador con una torre de varias secciones de torre y una sala de máquinas montada en la parte superior de la torre y con un rotor con un eje de rotor fundamentalmente horizontal, que se ha construido de acuerdo con un procedimiento según la invención antes descrito, que comprende al menos un amortiguador de vibraciones antes mencionado configurado según la

invención como amortiguador de péndulo que se dispone en la torre por debajo de la sala de máquinas en una parte superior de una sección de torre más alta de la torre y que se puede adaptar en cuanto a su frecuencia natural a una frecuencia de vibración básica de la estructura en bruto de la torre sin la góndola de máquinas montada y a una frecuencia de vibración básica del aerogenerador construido por completo.

- 5 Este aerogenerador ya se construye de forma estable en su estado de estructura en bruto de torre mediante el empleo de un amortiguador de vibraciones correspondiente, por lo que es posible dimensionar las secciones de torre y la torre para requisitos de carga menores. Alternativamente se aumentan la estabilidad y la resistencia.

Las características, propiedades y ventajas referentes al resultado del procedimiento según la invención antes descrito se ponen en práctica en el aerogenerador correspondiente.

- 10 Otras características de la invención resultan de la descripción de formas de realización según la invención, junto con las reivindicaciones y los dibujos que se acompañan. Las formas de realización según la invención pueden incluir algunas características o una combinación de varias características.

La invención se describe a continuación sin limitación de la idea general de la invención a la vista de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, señalándose en relación con todos los detalles según la invención no especificados en el texto expresamente los dibujos. Estos muestran en la:

- 15

Figuras 1a), b) representaciones esquemáticas de un aerogenerador y de una estructura en bruto de torre,

Figura 2 una representación esquemática de un aerogenerador según la invención,

Figura 3 una representación esquemática de otro amortiguador de vibraciones y

Figuras 4a), b) representaciones esquemáticas de otros amortiguadores de vibraciones.

- 20 En las figuras, los elementos y/o las partes respectivamente iguales o similares se identifican con los mismos números de referencia, por lo que se prescinde respectivamente de una nueva representación.

La figura 1a) muestra un aerogenerador genérico 10, en este caso un aerogenerador terrestre montado en una base 2. En el caso de los aerogeneradores marinos, la base 2 se encuentra bajo el agua, de manera que se prevé una estructura de soporte en forma de estructura de cimentación fundamentada en la base 2 y que termina por encima del nivel del agua. Sobre esta base se construye después una torre 20.

- 25

En el caso del aerogenerador terrestre mostrado en la figura 1a), la parte superficial de una cimentación 5 o de un fundamento se puede ver en la base 2 en la que se ha construido una torre 14 con cinco secciones de torre 22^I a 22^V, de las que en la figura 1a) se define la segunda sección de torre superior 22^{IV}. La altura de las distintas secciones de torre 22^I a 22^V va aumentando desde abajo hacia arriba. La torre 20 se puede estrechar hacia arriba, presentar un diámetro constante o puntos de pandeo en el contorno, es decir, la torre se puede realizar de manera que después de un estrechamiento en la parte inferior se vaya ensanchando en la parte superior hacia arriba. Esto resulta especialmente ventajoso cuando en una torre relativamente delgada se crea espacio suficiente para el montaje de un amortiguador de vibraciones. En la parte superior de la torre 20 se dispone una sala de máquinas 40, mostrando la figura 1a) una vista lateral de la sala de máquinas 40 con un rotor 30 que presenta un cubo de rotor 32 con una cubierta también llamada "Spinner" y tres palas de rotor 34. En la vista lateral se puede ver la pala de rotor 34 superior en toda su longitud, viéndose de las dos palas de rotor 34 dispuestas de forma desplazada en 120° solamente la que en la perspectiva es la más cercana de forma recortada y que cubre la tercera pala de rotor situada por detrás en el plano de la imagen.

- 30
- 35

En la parte superior de la sección de torre más alta 22^V, por debajo de la sala de máquinas 40, se dispone un amortiguador de vibraciones 50 entre una plataforma 28 y una plataforma de subida 29 que permite subir a la góndola o a la sala de máquinas 40. El amortiguador de vibraciones 50 amortigua las vibraciones de la torre durante el funcionamiento del aerogenerador 10.

- 40

En la figura 1b) se representa la torre 20 de la figura 1a) como estructura en bruto de torre 24 sin la góndola o la sala de máquinas 40 montadas. A la izquierda de la estructura en bruto de torre 24 se representan con corchetes curvados los estados de estructura en bruto de torre 24^I a 24^V que se producen mediante el levantamiento y la colocación de la sección de torre correspondiente 22^I a 22^V. El amortiguador de vibraciones 50 se dispone en la sección de torre más alta 22^V. También se indica una brida de conexión de torre superior 26 para el montaje de la sala de máquinas 40, especialmente de una unidad de regulación acimutal no representada.

- 45

En la figura 2 se ilustra un ejemplo de realización de un aerogenerador 10 según la invención con un amortiguador de péndulo 60. Un péndulo 64 con una masa de péndulo 62 y una longitud de péndulo L_2 se suspende en una plataforma 28 en la sección de torre más alta 22^V. La longitud de péndulo L_2 se concibe preferiblemente de manera que el amortiguador de péndulo 60 amortigüe la primera forma propia de flexión de la torre 20 del aerogenerador acabado. Para el estado de estructura en bruto se muestra una plataforma provisional 66 por debajo de la plataforma 28 que representa una restricción para el péndulo 64. El péndulo se padea en la restricción. La longitud de péndulo efectiva por debajo de la restricción ya sólo es de $L_2 - L_1$. En el ejemplo de realización, la relación de longitud $L_1:L_2$ es aproximadamente de 1:3, de manera que la frecuencia de péndulo se pueda reducir en un factor de aproximadamente 2,25 retirando la plataforma provisional.

- 50
- 55

La figura 3 es una representación esquemática de un amortiguador de vibraciones en forma de un amortiguador de traqueteo 50, como se ha indicado a modo de ejemplo en la figura 1. El mismo presenta paredes laterales exteriores 52 que encierran un volumen total de traqueteo. En el volumen total se insertan chapas de mampara extraíbles 56 que dividen el volumen total en diferentes cámaras de traqueteo 54. Para reducir la frecuencia natural del amortiguador de traqueteo 50 se retiran algunas o todas las chapas de mampara 56, de manera que las diferentes cámaras de traqueteo 54 se puedan unir formando cámaras de traqueteo más amplias, sirviendo finalmente todo el volumen sin divisiones como cámara de traqueteo. Esto se hace preferiblemente justo antes o después del montaje de la sala de máquinas en la torre.

En las figuras 4a) y 4b) se muestran representaciones esquemáticas de otros amortiguadores de vibraciones en forma de amortiguadores de vibraciones TLCD 70, 70'.

El amortiguador de vibraciones TLCD 70 mostrado en la figura 4a) presenta dos tubos ascendentes 72 unidos entre sí en la zona inferior a través de un tubo horizontal 74. Para unir los tubos ascendentes 72 entre sí, el tubo horizontal 74 se construye a partir de dos piezas que se unen entre sí por medio de un acoplamiento tubular 76. Los tubos ascendentes 72 y el tubo horizontal 74 forman juntos un tubo fundamentalmente en forma de "U" relleno parcialmente de agua salada 78. Si el TLCD 70 se instala en una torre oscilante 10 o en una estructura en bruto de torre oscilante 24, se provoca en la columna de agua 78 una vibración, de manera que los niveles 80 del agua salada 78 en los tubos ascendentes (72, 72') suban y bajen en direcciones opuestas. La menor cantidad de agua en comparación con un amortiguador de traqueteo se compensa con una mayor amplitud o una mayor elevación del agua salada 78 en los tubos ascendentes 72.

Por encima del agua salada 78 se encuentran volúmenes de aire o columnas de aire 81 en los tubos ascendentes 72. Si éstos están cerrados al aire exterior, resulta un efecto de resorte neumático, ejerciendo la compresión del aire en la columna de aire 81, con el aumento del nivel 80, una fuerza de retroceso en la superficie del agua 78. Si la columna de aire 81 en el lado opuesto también está cerrada, resulta con el nivel allí descendente una presión negativa, es decir, una fuerza que succiona de nuevo el agua 78 hacia arriba. Este efecto de resorte neumático, que es opuesto a la dirección de vibración del agua salada 78, aumenta la frecuencia de vibración.

En la parte superior de los tubos ascendentes 72 se prevén agujeros de hombre 82 para la entrada y salida en los tubos ascendentes 72 que durante el funcionamiento normal están preferiblemente cerrados, a fin de evitar que el agua salada 78 se pierda por evaporación durante los años de funcionamiento del aerogenerador 10. En este ejemplo de realización, las columnas de aire 81 en los tubos ascendentes 72 se unen entre sí con un tubo de unión 84 en el que se dispone una tapa de cierre 86. Cuando la tapa de cierre 86 está abierta, las columnas de aire 81 de los dos tubos ascendentes 72 se unen entre sí y no se produce ningún efecto de resorte neumático. Si la tapa de cierre 86 se cierra, las columnas de aire 81 se separan unas de otras, formándose un efecto de resorte neumático en ambos tubos ascendentes 72.

La figura 4b) muestra otro ejemplo de realización de un amortiguador de vibraciones TLCD 70'. El mismo se diferencia del amortiguador de vibraciones TLCD 70 de la figura 4a) sobre todo en que no hay ningún tubo de unión 84 entre los tubos ascendentes 72', presentando, no obstante, al menos un tubo ascendente 72' una válvula de alivio de presión 88 en su cara superior que se abre en caso de formación de una sobrepresión o de una presión negativa excesiva en la columna de aire 72'.

Como se puede ver en la figura 4b), el TLCD 70' puede combinarse en forma de cruz con al menos otro TLCD 70. De este modo se lleva a cabo una amortiguación de vibraciones para vibraciones en diferentes direcciones. Para lograr el cruce de los tubos horizontales 74, 74', éstos se disponen verticalmente de forma escalonada. La altura total efectiva de los tubos ascendentes 72 es la misma que la de los tubos ascendentes 72', dado que en estos últimos el volumen por debajo del canto inferior del tubo horizontal 74' no participa en la vibración. Sin embargo, esta parte inferior aumenta la estabilidad del amortiguador de vibraciones TLCD 70'.

En el ejemplo de realización mostrado en las figuras 4a) y 4b), la presión de resorte neumático se puede regular en varias etapas. En el estado final del aerogenerador, la tapa de cierre 86 en el tubo de unión 84 puede abrirse durante el funcionamiento normal. De este modo se elimina por completo el efecto de resorte neumático. Al cerrar la tapa de cierre 86, un tubo ascendente 72, 72' puede permanecer abierto y el otro, que requiere una válvula de alivio de presión 88, puede cerrarse, de manera que se cree un efecto de resorte neumático de una dirección. En un refuerzo adicional, ambos tubos ascendentes 72, 72' pueden cerrarse y, en su caso, estar dotados o dotarse de válvulas de alivio de presión. En este caso resulta un efecto de resorte neumático más fuerte, ya que el mismo se produce en ambos lados.

Lista de referencias

- 2 Base
- 5 Cimientos
- 10 Aerogenerador
- 20 Torre

	22 ^I -22 ^V	Sección de torre
	24	Estructura en bruto de torre
	24 ^I -24 ^V	Estado de estructura en bruto de torre
	26	Brida de conexión de torre superior
5	28	Plataforma
	29	Plataforma de subida
	30	Rotor
	32	Cubo de rotor
	34	Pala de rotor
10	40	Sala de máquinas
	50	Amortiguador de traqueteo
	52	Pared lateral
	54	Cámara de traqueteo
	55	Cámara de traqueteo ampliada
15	56	Chapa de mampara extraíble
	60	Amortiguador de péndulo
	62	Masa de péndulo
	64	Péndulo
	66	Plataforma provisional
20	70, 70'	Amortiguador de vibraciones TLCD
	72, 72'	Tubo ascendente
	74, 74'	Tubo horizontal
	76	Acoplamiento tubular
	78	Agua salada
25	80	Nivel de agua
	81	Columna de aire
	82	Agujero de hombre
	84	Tubo de unión
	86	Tapa de cierre
30	88	Válvula de alivio de presión
	L ₁	Longitud de péndulo reducida
	L ₂	Longitud de péndulo completa

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la construcción de un aerogenerador (10) con una torre (20) y con una sala de máquinas (40) dispuesta en la parte superior de la torre, montándose en primer lugar una estructura en bruto de torre (24), colocándose en una fase de estructura en bruto de torre, en la que aún no se ha instalado ninguna sala de máquinas (40) en la estructura en bruto de torre (24), en un estado de estructura en bruto de torre (24^I-24^V) o en varios estados de estructura en bruto de torre (24^I-24^V), una o varias secciones de torre (22^I-22^V) formando, en caso de varias secciones de torre (22^I-22^V), una estructura en bruto de torre (24) que aumenta de tamaño con cada sección de torre (22^I-22^V) hasta alcanzar una altura final de estructura en bruto de torre (24), instalándose, después del montaje completo de la estructura en bruto de torre (24) a partir de todas las secciones de torre (22^I-22^V), la sala de máquinas (40) en la parte superior de la estructura en bruto de torre (24) y uniéndose con posibilidad de giro a la estructura en bruto de torre (24), disponiéndose al menos un amortiguador de vibraciones configurado como amortiguador de péndulo (60) en una sección de torre (22^V) colocada en último lugar para la finalización de la estructura en bruto de torre (24), adaptándose su frecuencia natural a una primera frecuencia de vibración básica de la estructura en bruto de torre (24) sin sala de máquinas (40) montada, permaneciendo el al menos un amortiguador de péndulo (60) en la torre (20) después del montaje de la sala de máquinas (40) en la estructura en bruto de torre (24) y adaptándose o habiéndose adaptado la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo (60) a una segunda frecuencia de vibración básica del aerogenerador (10) completamente montado, caracterizado por que durante la construcción de la estructura en bruto de torre (24) se aumenta la longitud del péndulo (L₁, L₂) para adaptar la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo (60), ajustándose la longitud del péndulo (L₁, L₂) mediante el pandeo en los soportes o en una plataforma provisional (66) de la torre (20) o mediante la fijación de eslabones de cadena.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la adaptación de la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo (60) a la frecuencia de vibración básica del aerogenerador (10) completamente montado se lleva a cabo después o poco antes de la colocación de la sala de máquinas (40) en la torre (20) o en la estructura en bruto de torre (24).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo (60) se puede variar entre al menos una primera frecuencia en la gama de 0,2 a 1 Hz y al menos una segunda frecuencia en la gama de 0,1 a 0,3 Hz, diferenciándose la primera frecuencia y la segunda frecuencia entre sí en un factor de 2 o más, especialmente en al menos un factor 3.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el al menos un amortiguador de péndulo (60) se configura como amortiguador de péndulo en combinación con resortes en la masa de péndulo, comprendiendo el amortiguador de péndulo (60) especialmente una amortiguación viscosa.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que en el transcurso de la construcción de la estructura en bruto de torre (24), para la adaptación de la frecuencia natural del al menos un amortiguador de péndulo (60), en caso de un amortiguador de péndulo (60) en combinación con resortes en la masa de péndulo (62), se reduce el número de resortes y/o los resortes utilizados se sustituyen por resortes con una menor fuerza elástica.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que las frecuencias de vibración básicas de una estructura en bruto de torre (24) se calculan o determinan en al menos un estado de estructura en bruto de torre (24^I-24^V) o en el aerogenerador (10) construido por completo ya antes del comienzo de la construcción del aerogenerador (10), adaptándose las frecuencias naturales del al menos un amortiguador de péndulo (60) a las mismas.
7. Sistema de amortiguador de vibraciones para un aerogenerador (10) que comprende un amortiguador de vibraciones y al menos un soporte o una plataforma provisional que se puede fijar en una sección de torre (22^V) montada en último lugar para la finalización de la estructura en bruto de torre (24), pudiéndose adaptar una frecuencia natural del amortiguador de vibraciones a una primera frecuencia de vibración básica de una estructura en bruto de torre (24) del aerogenerador (10) sin la sala de máquinas (40) montada y a una primera frecuencia de vibración básica del aerogenerador (10) con la sala de máquinas (40) montada, configurándose el amortiguador de vibraciones como amortiguador de péndulo (60), caracterizado por que, para la adaptación de la frecuencia natural en un amortiguador de péndulo (60), la longitud de péndulo (L₁, L₂) se aumenta o reduce, ajustándose la longitud de péndulo (L₁, L₂) mediante pandeo en los soportes o en la plataforma provisional (66) de la torre (20) o mediante fijación de eslabones de cadena.
8. Sistema de amortiguador de vibraciones según la reivindicación 7, caracterizado por que la frecuencia natural del al menos un amortiguador de vibraciones se puede variar entre al menos una primera frecuencia en la gama de 0,2 a 1 Hz y al menos una segunda frecuencia en la gama de 0,1 a 0,3 Hz, diferenciándose la primera frecuencia y la segunda frecuencia entre sí en un factor de 2 o más, especialmente en al menos un factor 3.

9. Sistema de amortiguador de vibraciones según la reivindicación 7 u 8, caracterizado por que el amortiguador de péndulo (60) se configura como amortiguador de péndulo en combinación con resortes en la masa de péndulo, especialmente con amortiguación viscosa.
- 5 10. Sistema de amortiguador de vibraciones según la reivindicación 9, caracterizado por que para la adaptación de la frecuencia natural en un amortiguador de péndulo (60) en combinación con resortes en la masa de péndulo (62), el número de resortes se reduce o aumenta y/o los resortes utilizados se sustituyen por resortes con una fuerza elástica menor o mayor.
- 10 11. Aerogenerador (10) con una torre (20) de varias secciones de torre (22^I-22^V) y con una sala de máquinas (40) dispuesta en la parte superior de la torre (20) y con un rotor (30) con un eje de rotor fundamentalmente horizontal, construido de acuerdo con un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende al menos un sistema de amortiguador de vibraciones según una de las reivindicaciones 7 a 10 que se dispone en la torre (20) por debajo de la sala de máquinas (40) en una zona superior de una sección de torre más alta (22^V) de la torre (20) y
- 15 que se puede adaptar en cuanto a su frecuencia natural a una frecuencia de vibración básica de la estructura en bruto de torre (24) sin la góndola de máquinas (40) montada y a una frecuencia de vibración básica del aerogenerador (10) construido por completo.

Fig. 1

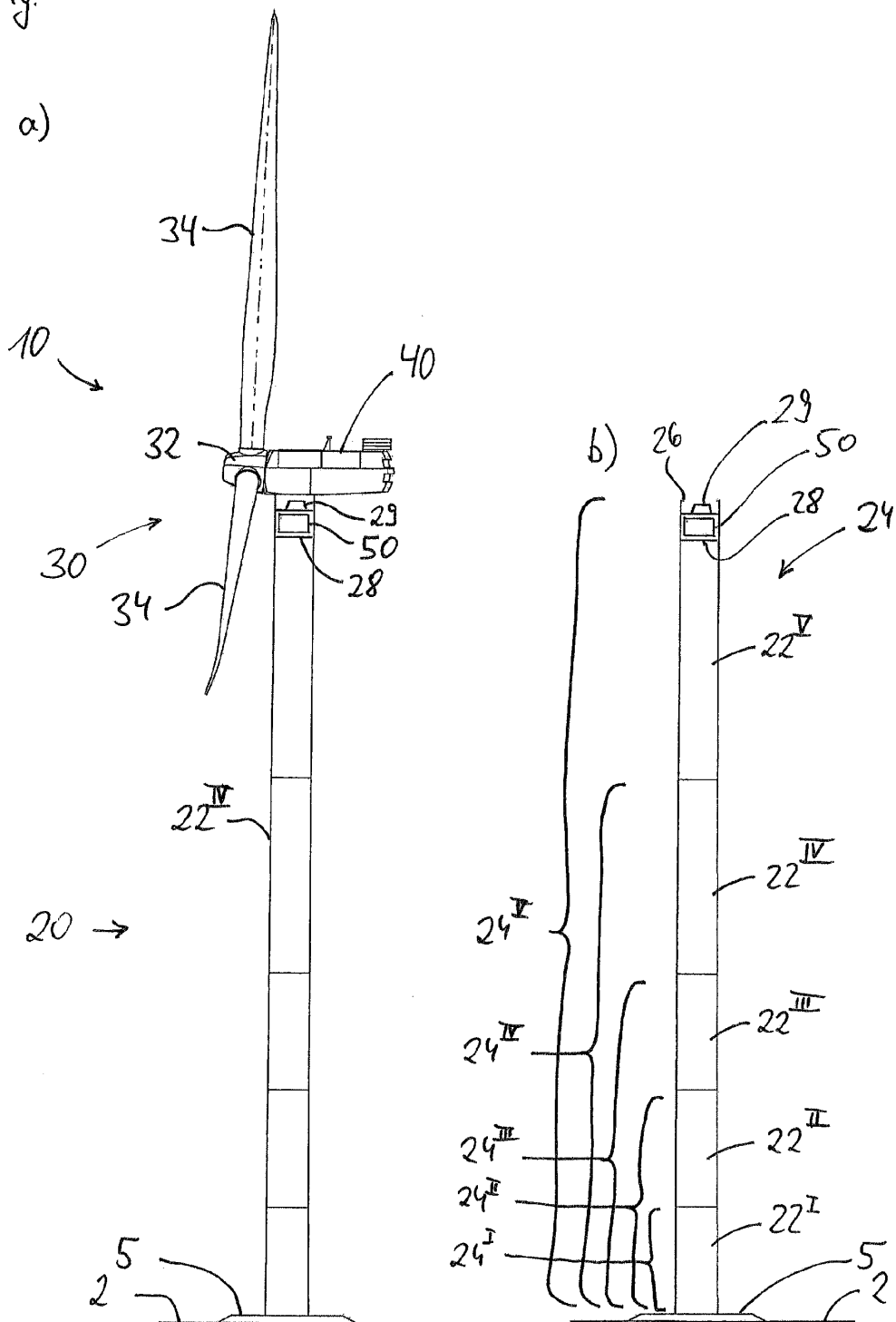


Fig. 2

