

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 599 406**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

F03D 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.04.2011** **PCT/EP2011/055554**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2011** **WO11124707**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2011** **E 11713491 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016** **EP 2556243**

54 Título: **Rotor de turbina eólica y una turbina eólica**

30 Prioridad:

09.04.2010 GB 201005917
09.04.2010 GB 201005942

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.02.2017

73 Titular/es:

SWAY TURBINE AS (100.0%)
C. Sundts gate 51, 8 etg
5004 Bergen, NO

72 Inventor/es:

BORGEN, EYSTEIN;
CARRON, WILLIAM y
WEST, MARK

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 599 406 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

Rotor de turbina eólica y una turbina eólica

5 La presente invención se refiere a un rotor de la turbina eólica y a una turbina eólica que incluye un rotor de este tipo.

10 Las turbinas eólicas para generar electricidad se conocen y se están desplegando en número creciente para proporcionar un suministro sostenible de electricidad. La potencia máxima que una turbina eólica puede generar es proporcional al área de barrido de sus palas, área de barrido que es aproximadamente proporcional al cuadrado de las longitudes de las palas. Existe un deseo de aumentar el tamaño de las turbinas eólicas a fin de aumentar la potencia máxima que son capaces de proporcionar y con el fin de reducir el coste de la energía suministrada. Sin embargo, una escalada lineal de la potencia de salida no puede lograrse simplemente escalando linealmente los componentes de la turbina eólica.

15 Por ejemplo, si se duplica la longitud de cada pala, el área de barrido se incrementa cuatro veces. Sin embargo, el peso de cada pala es generalmente proporcional al cubo de la longitud de modo que el peso se incrementa ocho veces.

20 Se sabe de turbinas eólicas en las que las palas se fijan a un concentrador que acciona un generador a través de un árbol conectado a ese concentrador. Ejemplos de esta disposición se describen en los documentos WO 03/098034A1, DE 10311025A1, US 2006/0251516A1, EP 0058791A1 y US 6951443B1.

25 Los generadores accionados por ejes han requerido normalmente el uso de una caja de engranajes para aumentar la velocidad de giro a fin de proporcionar una generación más eficaz de electricidad. Sin embargo, las cajas de cambios son inconvenientes porque añaden al coste, los requisitos de peso y mantenimiento de las turbinas eólicas. Generadores de accionamiento directo se han utilizado y ejemplos de tales disposiciones se divulgan en los documentos DE 10255745A1 y US 6285090B1.

30 El documento WO 02/099950A1 divulga un generador eléctrico de este tipo. La turbina eólica comprende un rotor cuyo borde se conecta a un concentrador por miembros de tensión para asemejarse a una rueda de radios de bicicleta. El concentrador se acciona por una disposición de palas de turbina eólica axialmente se paradas.

35 El documento CA26265452A1 divulga una turbina eólica con un generador de accionamiento directo. Las palas del rotor de la turbina se fijan a una corona circular, que se conecta a un concentrador por varillas que se extienden radialmente desde el concentrador y se disponen en un plano común perpendicular al eje de giro. Las fuerzas de pala se resuelven en la corona circular, a la que se conectan los extremos interiores de las palas. Por tanto, la corona circular se debe fabricar con resistencia suficiente para soportar estas fuerzas. Para una corona circular que tiene un radio alrededor del eje de giro del orden de 12 metros y un diámetro de sección transversal del orden de 3,5 metros, la fabricación es relativamente costosa y la corona circular tiene un peso considerable. El transporte y montaje de la turbina eólica tienden, por tanto, a ser costosos.

40 El documento US 7042109B2 divulga diversas disposiciones de turbinas eólicas en las que un rotor de la turbina acciona un generador de tipo anillo sin hierro directamente, o a través de una caja de engranajes. En la disposición mostrada en la Figura 3 de este documento, las palas se extienden dentro de un concentrador del rotor hasta los cojinetes del concentrador y un rotor del generador se fija al concentrador. Las componentes de fuerza paralelas al eje de giro que actúan sobre las palas se comunican a los cojinetes y también al rotor del generador. El par producido por las palas se transmite al rotor del generador.

45 También se sabe de turbinas eólicas con palas fijadas a un concentrador y soportadas por una disposición de cuerda o cable. En tales turbinas, el concentrador acciona de nuevo un generador a través de un eje y normalmente a través de una caja de engranajes. Las turbinas eólicas de este tipo no son adecuadas para la generación de potencia relativamente elevada puesto que el área de barrido no se puede incrementar suficientemente la vez que mantiene la integridad de la estructura. El documento WO 2008/127114 A1 divulga una disposición de una turbina eólica en la que el rotor de la turbina comprende un concentrador generalmente en forma de rosquilla.

50 Otros ejemplos de turbinas eólicas se divulgan en los documentos GB 1511948A1, WO 97/13979A1, US 4330714A, US 4350895A, WO 86/02701A1, WO 2007/135391A2, US 2005/200134A1, US 5118255A, US 2050129A, DE 19606359A1 y US 2008/124216A1.

60 Los aspectos iniciales de la invención se definen en las reivindicaciones y, esencialmente, incluye:

65 1. Una turbina eólica que comprende: un árbol; una pluralidad de disposiciones de pala, cada una de las cuales puede girar alrededor del árbol y tiene una pala cuyo extremo radialmente exterior no está soportado: al menos primera y segunda disposiciones de cojinete axialmente separadas a lo largo del árbol; y un generador de accionamiento directo que comprende un estator, que se fija giratoriamente al árbol, y un rotor que tiene un

reborde conectado a la primera y a la segunda disposiciones de cojinete, cada una de las que transmite fuerzas radiales del rotor al árbol y cada una de las que transmite momentos de flexión al árbol, estando cada una de las disposiciones de palas conectada a un punto en o adyacente al reborde con el fin de transmitir el par generado por la disposición de palas directamente al respecto, teniendo cada una de las disposiciones de pala primera y segunda patas que se ahorcajan en el generador. Opcionalmente, la turbina de la invención podría incluir las siguientes características:

2. Una turbina como se define en el apartado 1, en la que se dispone el estator entre la primera y la segunda disposiciones de cojinete.

3. Una turbina como se define en los apartados 1 o 2, en la que cada pala se conecta con el resto de la disposición de pala por un cojinete de paso.

4. Una turbina como se define en uno cualquiera de los apartados anteriores, en la que el reborde está conectado a la primera y la segunda disposiciones de cojinete por una pluralidad de pares de tercera y cuarta patas, respectivamente, estando la tercera y la cuarta patas de cada par dispuestas en un plano que contiene o que es paralelo al eje del árbol.

5. Una turbina como se define en uno de los apartados anteriores, en la que cada una de las disposiciones de pala se conecta al punto por un enlace que es flexible y/o pivota con la disposición de pala y/o el punto.

6. Una turbina como se define en uno cualquiera de los apartados anteriores, en la que cada una de la primera y segunda disposiciones de cojinete transmite momentos de flexión al árbol.

7. Una turbina como se define en uno cualquiera de los apartados anteriores, en la que la primera y segunda patas están conectadas a la primera y la segunda disposiciones de cojinete, respectivamente.

Se describirá adicionalmente la invención, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 ilustra una turbina eólica que constituye una realización de la invención;

La Figura 2 es un dibujo en sección transversal de una parte de la turbina eólica de la Figura 1;

La Figura 3 ilustra una turbina eólica que constituye otra realización de la invención;

La Figura 4 ilustra un rotor de la turbina eólica y el estator de la turbina de la Figura 3 con más detalle;

La Figura 5 ilustra una turbina eólica que constituye una realización adicional de la invención;

La Figura 6 ilustra un rotor de la turbina eólica de la turbina eólica de la Figura 5 con más detalle;

La Figura 7 es un dibujo en sección transversal de un detalle de la parte de turbina eólica que se muestra en la Figura 2; y

La Figura 8 ilustra una turbina eólica que comprende otra realización de la invención.

Los números de referencia iguales se refieren a partes similares en todos los dibujos.

La turbina eólica que se muestra en las Figuras 1 y 2 es adecuada para su uso como un generador de alta potencia de electricidad. Por ejemplo, en una aplicación normal, una turbina eólica de este tipo puede tener una potencia nominal del orden de doce megavatios. La turbina se puede desplegar en tierra o en alta mar donde existen condiciones de viento favorables y la presencia de una o más de tales turbinas eólicas es aceptable.

La turbina eólica comprende una torre de soporte 1 que puede estar fija en el suelo por medio de una base adecuada (no mostrada) para aplicaciones en tierra o puede estar provista de disposiciones de flotabilidad y/o fijación para aplicaciones en mar abierto. Por ejemplo, la torre y la disposición de fijación pueden ser del tipo divulgado en los documentos EP1509696 y EP1944504.

Un árbol principal 2 se fija a un cabezal 3 de la torre 1 de tal manera que un eje 4 del árbol se mantiene sustancialmente horizontal. Con el fin de permitir que la turbina eólica acepte diferentes direcciones del viento, el cabezal 3 se puede montar en la parte superior de la torre 1 para pivotar alrededor de un eje vertical. La turbina eólica comprende un rotor que se monta de forma giratoria en el árbol 2 para su giro alrededor del eje 4 por medio de cojinetes principales 5, que incluyen el primer y segundo miembros portantes 6. El rotor comprende los miembros portantes 6 (que constituyen un concentrador), tres palas de turbina 7, que se disponen equiangularmente alrededor del eje 4, tres disposiciones de montaje 8 de las palas de turbina, y una disposición de accionamiento del generador en forma de un rotor anular 9 del generador. Un estator 10 del generador se fija al árbol 2 entre los miembros

portantes 6.

Cada uno de los miembros portantes 6 es de tipo "momento rígido". En particular, los miembros portantes 6 transfieren momentos de flexión en las disposiciones de montaje 8 de las palas al árbol 2. De este modo, los miembros portantes 6 son tales que los momentos de flexión que podrían alterar la posición del rotor 9 con respecto al estator 10 se transfieren al árbol 2, lo que resiste tales desplazamientos.

Los miembros portantes 6 pueden ser de cualquier tipo adecuado. Por ejemplo, cada uno de los miembros portantes 6 puede comprender uno o más cojinetes, cada uno de los que puede ser un cojinete con elementos rodantes o un cojinete simple y puede proporcionar un contacto angular. Ejemplos de elementos rodantes que son adecuados incluyen elementos esféricos, elementos cilíndricos y elementos troncocónicos (ahusados). Por ejemplo, aros exteriores pueden estar conectados de forma rígida a un tubo o tubería que forma un concentrador. En un ejemplo específico, dos cojinetes con elementos rodantes se pueden disponer en o adyacente a un extremo de la tubería y un cojinete con elemento rodante se puede disponer en o adyacente al otro extremo de la tubería. Los cojinetes se pueden disponer dentro de la tubería.

A pesar de que las turbinas eólicas de las realizaciones descritas en la presente memoria tienen tres palas de turbina y disposiciones de montaje o disposiciones de pala, se puede proporcionar cualquier número apropiado de acuerdo con la aplicación. Las palas 7 se soportan exclusivamente en sus extremos o porciones radialmente interiores y no se soportan en sus extremos radialmente exteriores, por ejemplo mediante una estructura de anillo (aunque se pueden utilizar cables de interconexión).

Cada disposición de montaje 8 comprende un miembro que se puede formar a partir de material compuesto o de metal. La disposición 8 se asemeja a un "bastidor A" o bastidor espacial y comprende la primera y segunda porciones 11 y 12 que forman el primer y segundo miembros cuyos extremos interiores se conectan a los miembros portantes 6 a fin de estar separados entre sí en paralelo al eje 4. Los extremos interiores se pueden fijar rigidamente a los miembros portantes o se pueden fijar de forma pivotante a los mismos. Los extremos exteriores se conectan entre sí y a una parte exterior del miembro de material compuesto 8 lo que proporciona un montaje pivotante para la pala 7 de tal manera que la pala 7 puede pivotar alrededor de su eje longitudinal a fin de permitir el control del grado de vuelo o paso de la pala. Por ejemplo, el extremo exterior de la disposición de montaje de la pala está provisto de una placa que se extiende sustancialmente perpendicularmente al eje de paso de la pala 7. La placa proporciona un montaje para la pala, que se conecta a la placa por un cojinete de paso 13 para permitir que el paso de la pala 7 varíe. Un motor 14 hace girar la pala 7 a un paso deseado. Los extremos exteriores de los miembros 11 y 12 se conectan al montaje de la pala 7 en virtud de ser parte del miembro de material compuesto. Por tanto, el rotor de la turbina comprende una estructura de múltiples patas con extremos de patas radialmente interiores unidos a los miembros portantes 6.

El rotor del generador comprende una pluralidad de pared de tercer y cuarto miembros 15 y 16 dispuestos para asemejar marcos A o marcos espaciales. Los extremos radialmente interiores de los miembros 15 y 16 se conectan a los miembros portantes 6 a fin de estar separados axialmente mientras que los extremos radialmente exteriores de los miembros 15 y 16 se conectan a una disposición de accionamiento del generador en forma de rotor 9 del generador. El rotor 9 del generador se conecta, por tanto, a pero separado de las palas 7. Como una alternativa, el rotor puede estar en compresión y puede conectarse al concentrador por radios en tensión.

El generador que comprende el rotor 9 y el estator 10 es del tipo sin hierro, anular o de anillo y de accionamiento directo. El rotor comprende un par de miembros anulares coaxiales 17 y 18 que llevan imanes permanentes y que definen entre los mismos un espacio de aire magnético. Los imanes se disponen en los miembros anulares 17 y 18 como pares enfrentados de imanes de manera que los imanes de cada par tienen polos opuestos uno frente al otro y los polos magnéticos alternan alrededor de las circunferencias, o angularmente con respecto al eje 4.

El estator comprende una pluralidad de bobinas angularmente distribuidas 19 que se disponen en el interior del espacio de aire entre los miembros 17 y 18. Las bobinas 19 son del tipo "sin hierro" porque no contienen un núcleo ferromagnético. Por ejemplo, las bobinas se pueden formar y encapsular en un material de resistencia suficiente, tal como una resina epoxi, para mantener la estructura y la forma de las bobinas. Las salidas de las bobinas se procesan de acuerdo con los requisitos específicos de aplicación y la electricidad generada se suministra a través de conductores que pasan a través de la torre 1.

El estator puede comprender un reborde en compresión conectado al árbol por radios en tensión.

Los generadores de este tipo son conocidos y no se describirán adicionalmente con detalle. Del mismo modo, se conocen y no se describirán adicionalmente disposiciones de circuitos eléctricos para el procesamiento de las salidas de dichos generadores. Ejemplos de tales generadores y disposiciones se divulgan, por ejemplo, en diversas de las publicaciones mencionadas anteriormente.

Cada una de las disposiciones de montaje 8 se conecta al rotor 9 por medio de una conexión que se muestra en 20. El rotor 9 se acciona, por tanto, por cada pala 7 a través de su disposición de montaje 8 y la conexión 20 a fin de

girar alrededor del eje 4 en relación con el estator 10. Las bobinas 19 cortan, de este modo, el flujo magnético entre los miembros 17 y 18 en el espacio de aire para generar electricidad.

Durante su uso, las palas 7, que se disponen en un plano común perpendicular al eje 4 de giro alrededor del árbol 2 o en una superficie troncocónica que es coaxial con el eje 4, se dirigen en la dirección del viento y los motores 14 hacen girar las palas 7 alrededor de sus ejes longitudinales con el fin de proporcionar el paso de pala deseado. Por ejemplo, el paso se puede configurar de tal manera que la velocidad punta exterior de las palas 7 es aproximadamente igual a seis veces la velocidad del viento para la eficiencia teórica máxima de extracción de energía a partir del viento. Diversas fuerzas actúan sobre las palas 7 y éstas se pueden resolver en fuerzas que actúan sobre las palas 7 paralelas al eje 4, el peso de las palas y las disposiciones de montaje 8 de las palas, y el par que actúa sobre las palas 7 alrededor del eje 4. La disposición de montaje 8 es tal que al menos algo de la fuerza resultante de las fuerzas que actúan paralelamente al eje 4 (o todas las componentes de fuerza que actúan en paralelo a este eje) se comunica, principalmente por los miembros 11 y 12 de cada miembro de material compuesto 8, a los miembros portantes 6. Cada pala 7 tiene un centro 30 de fuerza de todas las componentes de fuerza 33 que actúan en paralelo al eje 4 de giro. Los miembros 11 y 12 se extienden en las líneas 31, 32 que se cruzan entre sí sustancialmente en o adyacentes al centro 30 de fuerza. Por lo tanto, cualquier tendencia a moverse en la dirección horizontal en la Figura 2 se resiste por los miembros portantes 6 a través de los miembros 11 y 12 y no se comunica sustancialmente a través de la conexión 20 al rotor 9.

Es preferible en una gran proporción, por ejemplo, de más del 50 % o incluso más del 90 %, que la fuerza resultante se comunique por las disposiciones de montaje 8 a los miembros portantes 6 y, por lo tanto, no al rotor 9 del generador. La fuerza que tiende a desviar el rotor 9 en paralelo al eje 4 se reduce, lo que reduce el requisito de resistencia de la estructura de soporte del rotor a fin de permitir un espacio magnético del generador relativamente pequeño.

El rotor 9 se conecta a las disposiciones de montaje 8 y mantiene las relaciones angulares de las disposiciones de montaje. En particular, el rotor 9 resiste el par alrededor del eje 4 generado por el peso de las disposiciones de montaje 8 y las palas 7 a fin de mantener las separaciones angulares relativas de las mismas. Las conexiones de las disposiciones de montaje 8 a los miembros portantes 6 no están obligadas a mantener estas relaciones o separaciones angulares e incluso pueden comprender conexiones pivotantes como se ha mencionado anteriormente.

El par generado por las palas 7 se comunica sustancialmente exclusivamente a través de la conexión 20 al rotor 9 del generador. En particular, no hay comunicación o transmisión sustancialmente del par al rotor 9 a través de una trayectoria que comprende los miembros 11 y 12, los miembros portantes 6 y los miembros 15 y 16. Los miembros 15 y 16 que soportan el rotor 9 en el miembro portante 6 llevan una carga o componente de fuerza reducida paralela al eje 4 y, por lo tanto, no son solamente necesarios para asegurar la estabilidad estructural del rotor 9 en las direcciones paralelas al eje 4 en la presencia de tal carga reducida. Todos los miembros portantes de carga están actuando sustancialmente en tensión o compresión y, por lo tanto, se asemejan a una disposición de bastidor espacial. Por tanto, una estructura de bastidor abierto que se asemeja o actúa como un bastidor espacial se puede utilizar para formar la disposición de rotor de la turbina para el montaje de las palas de turbina y el accionamiento del generador. Por tanto, una estructura relativamente ligera se puede proporcionar y es fácilmente capaz de mantener la integridad estructural en presencia de las fuerzas que se producen durante la operación de una turbina eólica de potencia relativamente elevada. Por ejemplo, una estructura de este tipo se puede utilizar para proporcionar un generador de 12 MW relativamente ligero o de tamaño similar.

Debido a que el par generado por las palas 7 alrededor del eje 4 se comunica sustancialmente exclusivamente por la conexión 20 en cada miembro 8, la conexión 20 puede ser de tipo pivote. Del mismo modo, las conexiones 21 de los miembros 11 y 12 a los miembros portantes 6 no están obligadas a comunicar o resistir el par debido a que los miembros rígidos sustancialmente rectos 11 y 12 están solo transmitiendo sustancialmente las fuerzas de tensión y compresión a lo largo de su longitud. Las fuerzas reducida en el plano de la Figura 2 paralelo al eje 4 actúan en el rotor 9 de modo que el espacio de aire entre los miembros que llevan el imán permanente anular 17 y 18 pueden ser relativamente pequeños.

En el caso de una turbina eólica con una capacidad máxima de generación del orden de 12 MW, las palas 7 son normalmente del orden de 50 m de longitud y el rotor 9 es normalmente del orden de 12 metros de radio. La estructura de bastidor abierto proporciona una integridad estructural adecuada por medio de una estructura relativamente ligera que forma o se asemeja a un bastidor espacial. La fabricación de componentes, el transporte al sitio, y el montaje de los componentes para formar la turbina eólica son, por tanto, más fáciles y más baratos que para los tipos de disposiciones conocidas. Por lo tanto, es posible proporcionar una turbina eólica, que sea menos costosa de fabricar y de montar y que requiera relativamente poco mantenimiento durante su uso. Por tanto, tal turbina eólica ofrece una muy buena relación entre la energía generada y el coste total a lo largo de su vida útil y representa una fuente sostenible de energía eléctrica, que es muy eficaz en términos de costes de fabricación y de funcionamiento.

Al proporcionar los imanes permanentes del generador en el rotor 9 y las bobinas 19 del generador en el estator 16, la electricidad generada se puede extraer de la turbina eólica por medio de conductores eléctricos fijos sin requerir, por ejemplo, anillos deslizantes u otras conexiones eléctricas relativamente móviles. Sin embargo, si es necesario o deseable, los imanes permanentes se pueden proporcionar en el estator 10 y las bobinas se pueden proporcionar en el rotor 9, en cuyo caso algún tipo de conexión eléctrica giratoria, tales como anillos colectores, será generalmente necesaria con el fin de extraer la electricidad generada por la turbina eólica.

El rotor 9 del generador forma parte de la estructura del rotor de la turbina eólica. Por lo tanto, tiene el doble objetivo de montar los imanes permanentes (o bobinas) del generador y formar parte de la estructura para la transmisión del par generado por las palas 7. Esto representa una disposición estructuralmente eficaz que contribuye a la ligereza relativa del rotor de la turbina y montaje del generador.

Las Figuras 3 y 4 ilustran otro tipo de rotor de la turbina eólica que difiere del mostrada en las Figuras 1 y 2 principalmente en que los miembros 11 y 12 se forman como varillas o tubos, por ejemplo de metal. Además, las conexiones 20 para la transmisión del par de las palas 7 al rotor 9 se forman como varillas o tubos de modo que la estructura que incluye las disposiciones de montaje 8 de las palas se asemeja más a un bastidor espacial. Cada pala tiene su extremo interior montado en un cojinete principal 21 de tal manera que al menos algo de la fuerza resultante de las componentes de las fuerzas que actúan sobre las palas paralelas al eje 4 del árbol 2 se comunica a los miembros portantes 6 a través de los miembros 11 y 12 (los miembros se extienden en líneas que intersecan sustancialmente entre sí en o adyacente al centro de fuerza de la pala para todas las componentes de fuerza que actúan paralelas al eje de giro) mientras que el par que actúa sobre las palas 7 alrededor del eje 4 se comunica sustancialmente exclusivamente por los miembros 20 al rotor 9 y el rotor 9 mantiene la relación angular de las disposiciones de montaje 8. Los extremos interiores de las palas están provistos de o formados en un árbol que pasa a través de los cojinetes principales 21 hasta los cojinetes adicionales 22 que se fijan a los extremos exteriores de los miembros 15 y 16 (no visibles en las Figuras 3 y 4), que están situados en el mismo plano radial que contiene los miembros adyacentes 11 y 12. Por lo tanto, los miembros 15 y 16 ayudan en la comunicación de las componentes, paralelas al eje 4, de la fuerza que actúa sobre las palas 7 a los miembros portantes 6 y a no transmitir ningún par sustancial alrededor del eje 4. Las palas 7 y el rotor 9 se conectan entre sí de este modo y a los miembros portantes 6 por un bastidor espacial o una disposición que se asemeja a un bastidor espacial. El rotor 9 sirve también la finalidad de actuar como un miembro estructural con respecto al par, resistiendo las fuerzas de las palas perpendiculares al eje de giro, y soportando los imanes permanentes (o bobinas) de los generadores. El estator 10 se fija al árbol 2 entre los miembros portantes 6, que forman parte de o están provistos de cojinetes de empuje para la fijación o limitación de la separación axial de los miembros portantes 6.

El rotor de la turbina eólica que se muestra en la Figura 6 de la turbina eólica que se muestra en la Figura 5 es similar al rotor de la turbina eólica que se muestra en la Figura 4, pero se dispone para fabricarse como secciones de material compuesto que se unen entre sí. Cada miembro 11 o 12 y su miembro adyacente 15 o 16 se forman integralmente con el cojinete de pala principal 21 y el cojinete de pala auxiliar 22. El conjunto de rotor de la turbina eólica se puede formar de componentes compuestos unidos o pueden incluir algunos componentes no compuestos. Por tanto, este rotor se puede considerar como un equivalente compuesto de un bastidor espacial.

La Figura 7 ilustra parte de la estructura de rotor y estator del generador que se puede utilizar en cualquiera de las realizaciones pero que, a modo de ejemplo, se refiere al rotor mostrado en la Figura 2. El rotor 9 del generador comprende primer y segundo yugos anulares 23, que forman una parte estructural principal del rotor del generador. Los yugos 23 proporcionan también una trayectoria de flujo magnético y, por lo tanto, deben tener un espesor suficiente para este fin y ser de un material ferromagnético adecuado. Los yugos 23 se fijan a los extremos radialmente exteriores de los miembros 15 y 16.

En esta realización, los imanes permanentes 25 se fijan al rotor 9. En particular, cada uno de los imanes permanentes 25 tiene una forma similar a un sector y se fija a una placa de montaje ferromagnética 24. Las placas de montaje 24 se fijan de forma desmontable a los yugos 23, por ejemplo por medio de pernos 26, a fin de permitir que los imanes se monten en y desmonten de los yugos 23.

El estator 10 comprende una pluralidad de bobinas 19, por ejemplo "encapsuladas" en una resina epoxi con el fin de mantener la forma y la estructura de las bobinas contra las fuerzas que actúan dentro del generador y sin la necesidad de núcleos o formadores. Las bobinas 19 se disponen en el espacio de aire magnético definido entre imanes opuestos 25 en el primer y segundo yugos 23. El campo magnético en el espacio de aire es sustancialmente uniforme, de modo que el rendimiento del generador es tolerante de la posición axial de las bobinas 19 en relación con los imanes 25. Los imanes de cada par opuesto que definen el espacio de aire tienen polos magnéticos opuestos uno frente al otro. Además, los polos magnéticos de los imanes permanentes en los yugos alternan circunferencialmente (o angularmente alrededor del eje 4). Cada una de las bobinas 19 genera, por lo tanto, una corriente alterna y las bobinas pueden estar interconectados de acuerdo con cualquier técnica adecuada, por ejemplo conocida, con el fin de proporcionar la salida de potencia deseada.

Se toma ventaja de la necesidad de que la trayectoria de flujo magnético detrás de los imanes generalmente planos tenga que tener un cierto espesor mínimo para un rendimiento óptimo del generador. Gran parte de este espesor se

proporciona por los yugos 23, que por lo tanto son relativamente fuertes y forman parte de la estructura de rotor del generador para la transmisión del par. El uso de placas de montaje separadas 24 para el montaje de los imanes 25 es conveniente para la fabricación del rotor 9 del generador y para su mantenimiento, tal como la eliminación y sustitución de los imanes dañados.

La división del rotor 9 del generador en yugos anulares continuos 23, que se pueden soldar y/o mecanizarse antes del montaje de los imanes, y una pluralidad de segmentos discretos en forma de placas 24 que llevan los imanes 25 permite que los imanes se monten durante el montaje del rotor en grupos o segmentos más pequeños. Esto es de nuevo conveniente para el montaje y para la retirada, durante su uso, para reemplazar los imanes dañados o para cualquier otro fin. Una disposición de este tipo permite que las placas de montaje 24 y los imanes 25 se instalen radialmente desde fuera de la estructura de rotor del generador sin interferir con los devanados de extremo de las bobinas 19 que, como se muestra en la Figura 7, tienden a ser más anchos que las partes de las bobinas que pasan a través del espacio de aire magnético. El estator 10 con las bobinas 19 se forma como una pluralidad de elementos generalmente en forma de sector que se instala también radialmente durante el montaje del rotor de la turbina. Cada elemento de estator se instala de forma simultánea con los imanes adyacentes 25 en sus placas de montaje 24 con el fin de dar cabida a todos los componentes en el reborde del generador. Esto permite que la estructura de reborde principal del generador formada por los yugos anulares 23 sea continua.

La Figura 8 ilustra una turbina eólica que difiere de la mostrada en la Figura 1 en que la conexión 20 se encuentra en la forma de un enlace en lugar de una cola extendida de la montura de pala. Además, el cojinete de paso se encuentra radialmente más cerca del árbol 2. Además, la conexión 21 con pasadores se sustituye por una conexión diferente de cualquier tipo adecuado.

Se debe apreciar que las palas 7 no tienen que tener un paso variable, y que las palas 7 tampoco se tienen que formar por separado de las disposiciones de montaje 8 de las palas.

En las disposiciones de paso variable, las palas de la turbina eólica se controlan colectiva o individualmente con el fin de cambiar su ángulo con respecto al viento aparente y, por tanto, controlar la velocidad del rotor. Aunque estas disposiciones funcionan bien, requieren que las palas se monten de forma giratoria alrededor de sus ejes longitudinales o "de paso". Accionadores, tales como motores eléctricos, son obligados a variar el paso de las palas y disposiciones de control son necesarias para controlar el paso de las palas. Esto se suma al coste y la complejidad de tales turbinas eólicas y puede añadirse a la exigencia de mantenimiento.

La turbina eólica puede tener una disposición de control de velocidad regulado por parada. En el caso del control o regulación de parada, las palas no pueden girar alrededor de su eje de paso, pero se fijan al concentrador con su torsión distribuida para operar a la velocidad de giro óptima cercana a la velocidad de flujo entrante (relación de velocidad de la punta). A relaciones de velocidad superiores a la óptima, el ángulo de ataque se reduce y el par producido se reduce. A relaciones de velocidad por debajo de la óptima, el ángulo de ataque se incrementa, haciendo que la pala se pare, lo que reduce la elevación de producción del par, y aumenta la resistencia. Parte de este mecanismo de regulación puede depender de la capacidad de controlar la velocidad de giro del rotor, ya sea por el suministro del par reactivo del generador o por sistemas de frenado mecánicos o aéreos. Por ello, se puede proporcionar según sea necesario o deseable.

[Un resultado del enfoque de control de parada podría ser que las cargas más altas se imponen en el sistema de rotor y turbina en comparación con una turbina contralada por paso. Sin embargo, la simplicidad del sistema y una mayor fiabilidad del sistema de regulación de parada hacen que sea económicamente atractivo en muchas aplicaciones.

En algunas realizaciones, las palas 7 se pueden formar integralmente con las disposiciones de montaje 8 de las palas, por ejemplo, utilizando materiales compuestos mencionados anteriormente. También es posible que todas las palas del rotor, incluyendo todas las palas 7, se formen integralmente, por ejemplo, si todo el rotor se forma de componentes de material compuesto como se ha mencionado anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica que comprende:
un árbol;
5 una pluralidad de disposiciones de pala, cada una de las cuales puede girar alrededor del árbol y tiene una pala;
al menos primera y segunda disposiciones de cojinete axialmente separadas a lo largo del árbol; y
un generador de accionamiento directo que comprende un estator, que se fija giratoriamente al árbol, y un rotor del
generador que tiene un reborde conectado a la primera y a la segunda disposiciones de cojinete,
10 cada una de la primera y la segunda disposiciones de cojinete transmite fuerzas radiales del rotor del generador al
árbol
y cada una de la primera y la segunda disposiciones de cojinete está conectada a un punto en o adyacente al
reborde con el fin de transmitir el par generado por la disposición de palas directamente al reborde, **caracterizada**
por el hecho de que cada una de la primera y la segunda disposiciones de cojinete es de momento rígido y
transmite momentos de flexión al árbol y
15 cada una de las disposiciones de pala tiene primera y segunda patas que se ahorcajan en el generador.
2. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el estator está dispuesto entre la primera y la
segunda disposiciones de cojinete.
- 20 3. Una turbina eólica de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en la que cada pala está conectada al resto de la
disposición de pala por un cojinete de paso.
4. Una turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el reborde está
conectado a la primera y la segunda disposiciones de cojinete por una pluralidad de pares de tercera y cuarta patas,
25 respectivamente, estando la tercera y la cuarta patas de cada par dispuestas en un plano que contiene o que es
paralelo al eje del árbol.
5. Una turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de las
disposiciones de pala está conectada al punto por un enlace que es flexible y/o pivota con la disposición de pala y/o
30 el punto.
6. Una turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de la
primera y la segunda disposiciones de cojinete transmite momentos de flexión al árbol.
- 35 7. Una turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la primera y la
segunda patas están conectadas a la primera y la segunda disposiciones de cojinete, respectivamente.
8. Una turbina eólica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, manteniendo el rotor del generador al menos
parcialmente las relaciones angulares de las disposiciones de pala y estando separado de las disposiciones de pala,
40 estando cada disposición de pala dispuesta para comunicar sustancialmente de manera exclusiva al rotor del
generador el par de la disposición de pala que actúa sobre el eje.
9. Una turbina eólica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que las disposiciones de pala tienen
palas que no están soportadas en sus extremos radialmente exteriores.
- 45 10. Una turbina eólica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la disposición de cojinete, o cada
una de ellas, comprende una pluralidad de cojinetes con elementos rodantes o planos cuyos aros exteriores están
conectados rigidamente a una tubería.
- 50 11. Una turbina eólica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que dichas disposiciones de palas y
palas forman un rotor de palas que es independiente de dicho rotor del generador.
12. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que dicho rotor del generador se encuentra dentro
de dicho rotor de palas.
- 55 13. Una turbina eólica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que cada pala tiene un centro de fuerza
para todas las componentes de fuerza que actúan en paralelo a dicho eje, y dichas primera y segunda patas se
extienden en líneas que intersecan sustancialmente entre sí en o adyacentes a dicho centro de fuerza.
- 60 14. Una turbina eólica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que dichas primera y segunda patas
tienen extremos radialmente exteriores que están conectados entre sí en una parte exterior de la disposición de pala
que proporciona un montaje para dicha pala.
- 65 15. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 14, en la que dicho montaje de dicha pala permite que la pala
pueda pivotar alrededor de su eje longitudinal a fin de permitir el control del paso de la pala.

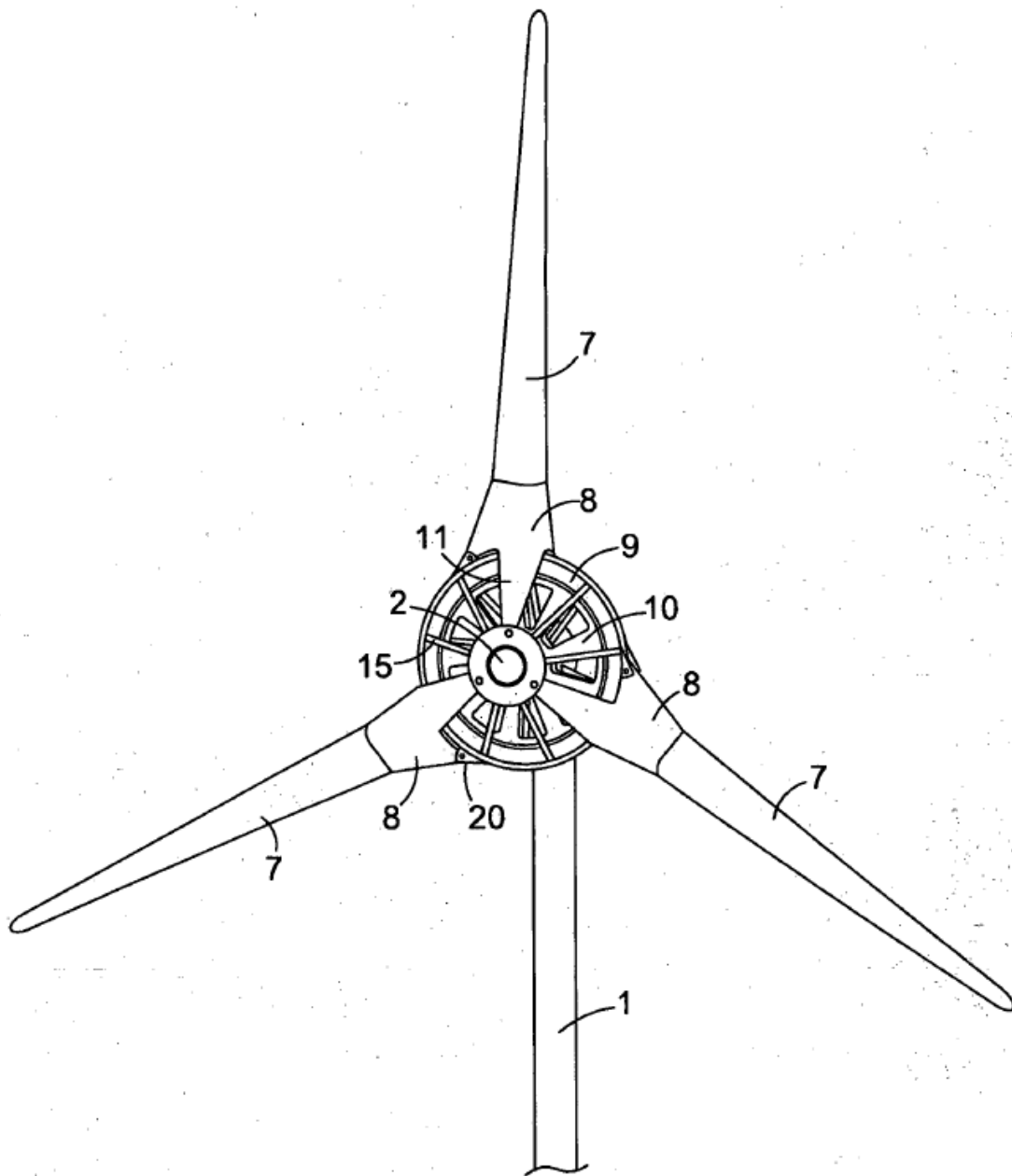


Fig. 1

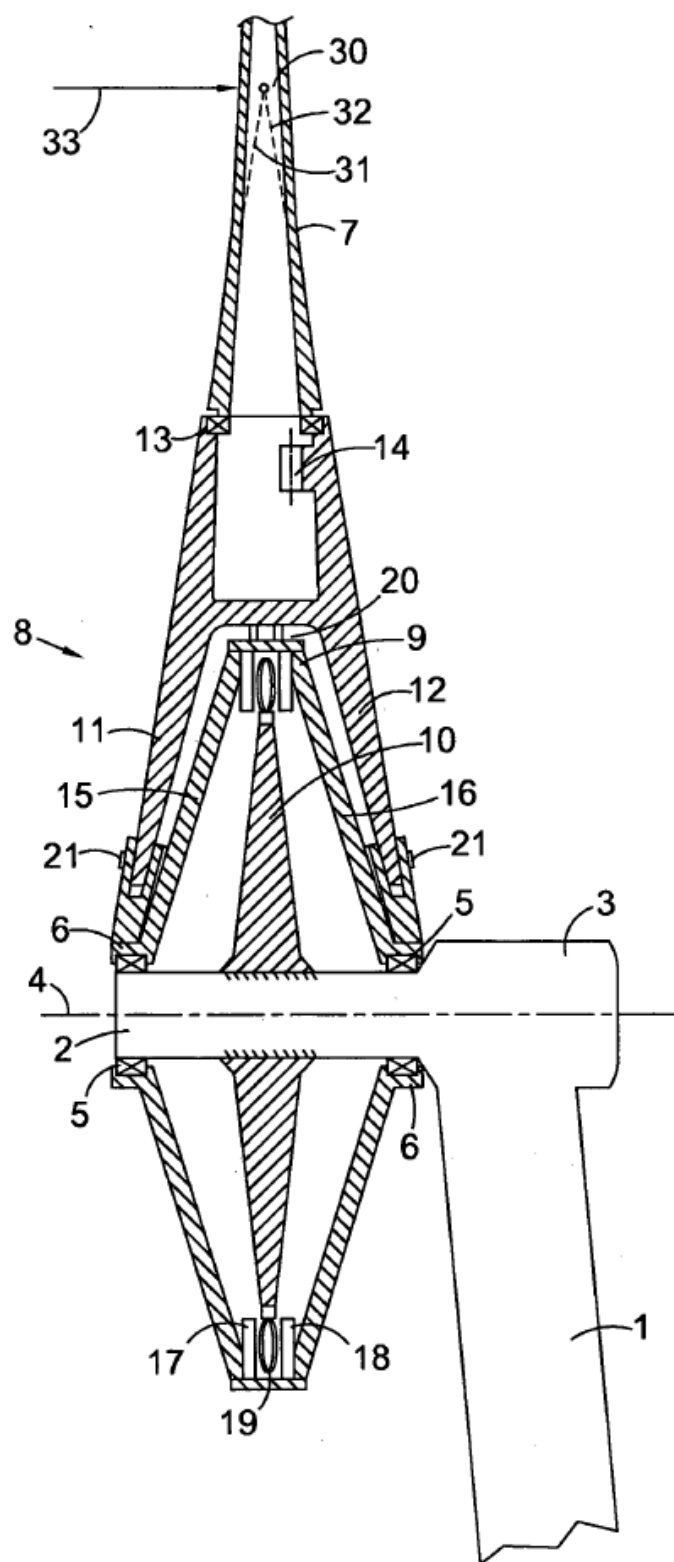


Fig. 2

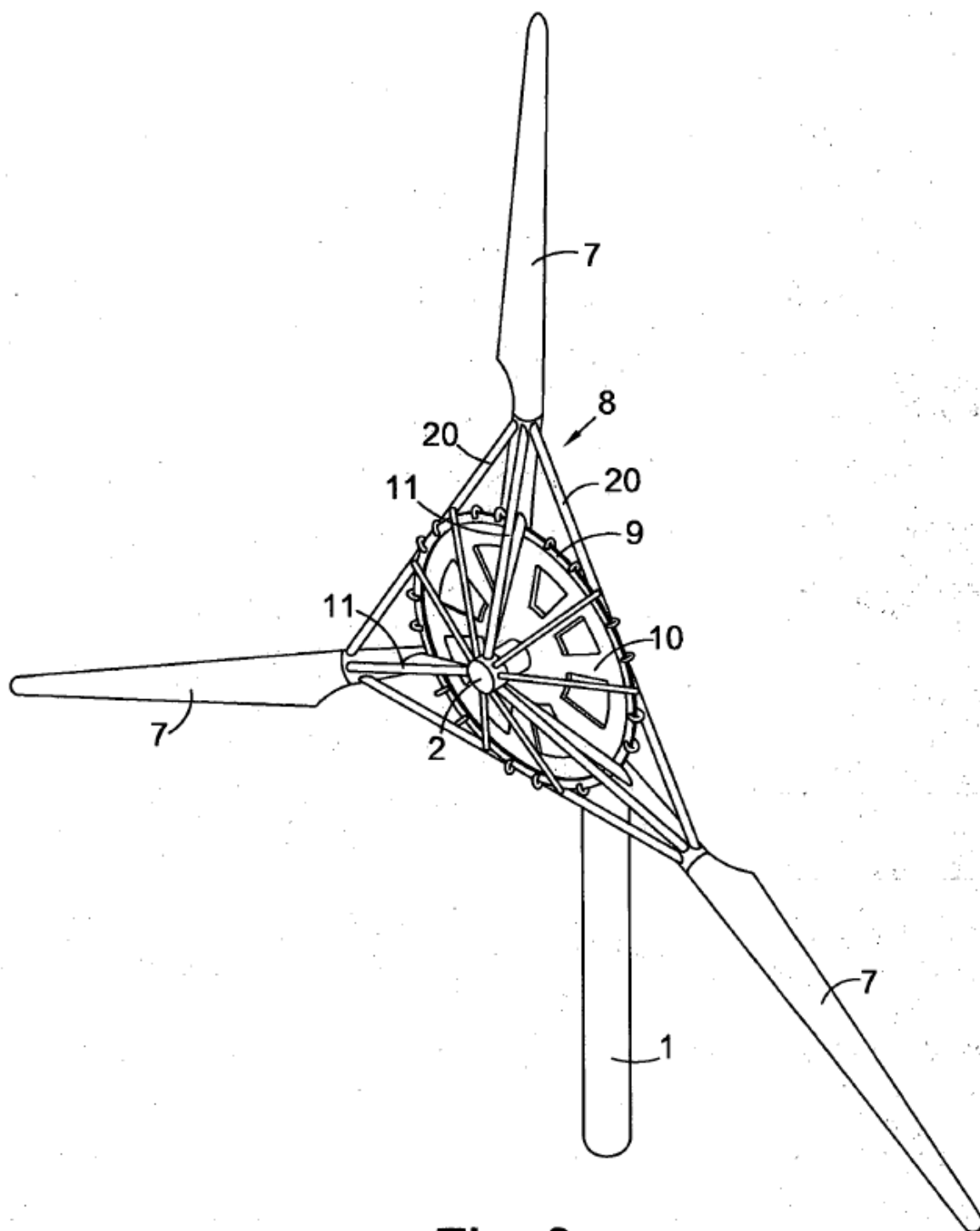


Fig. 3

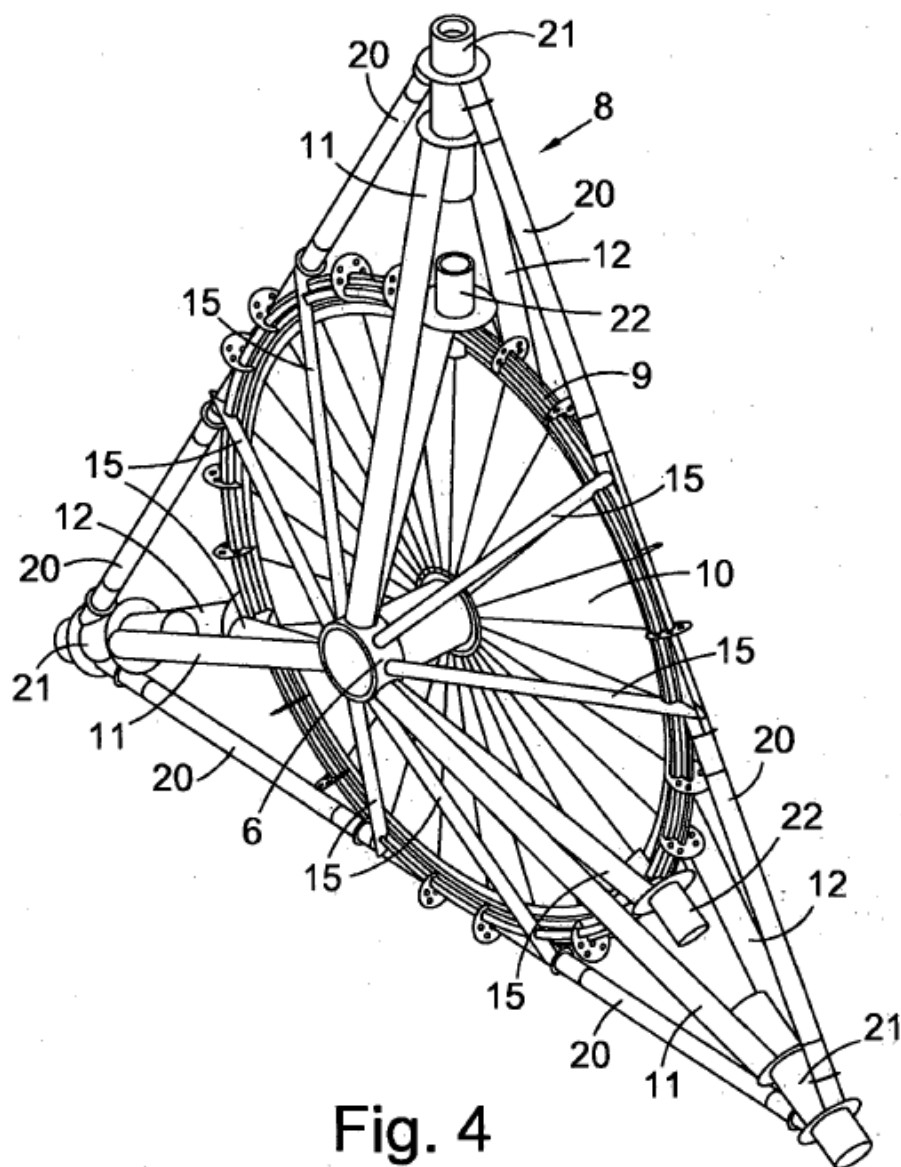


Fig. 4

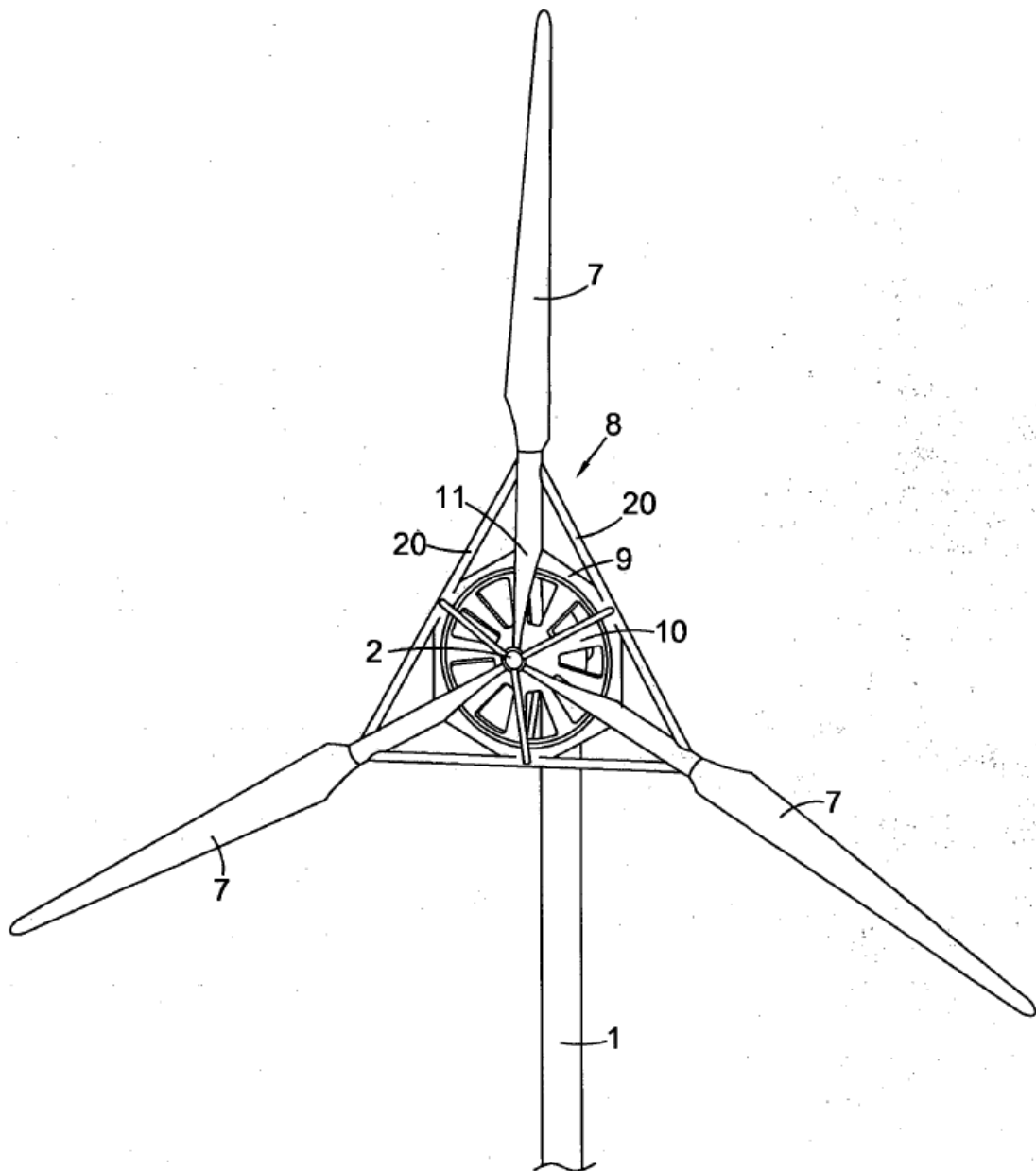


Fig. 5

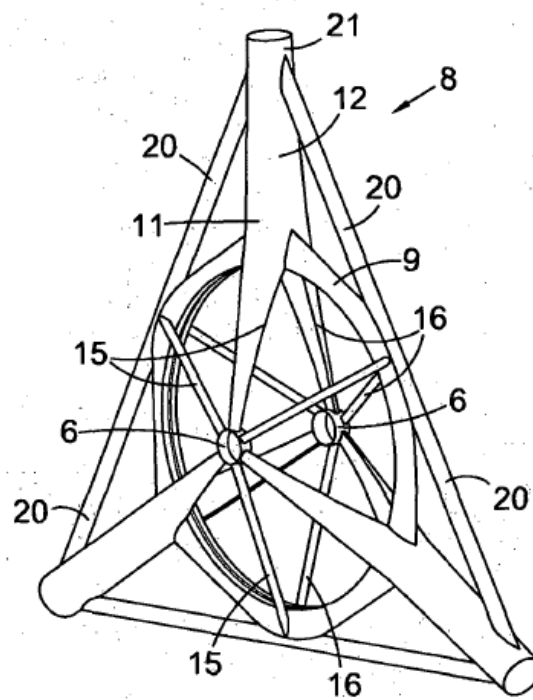


Fig. 6

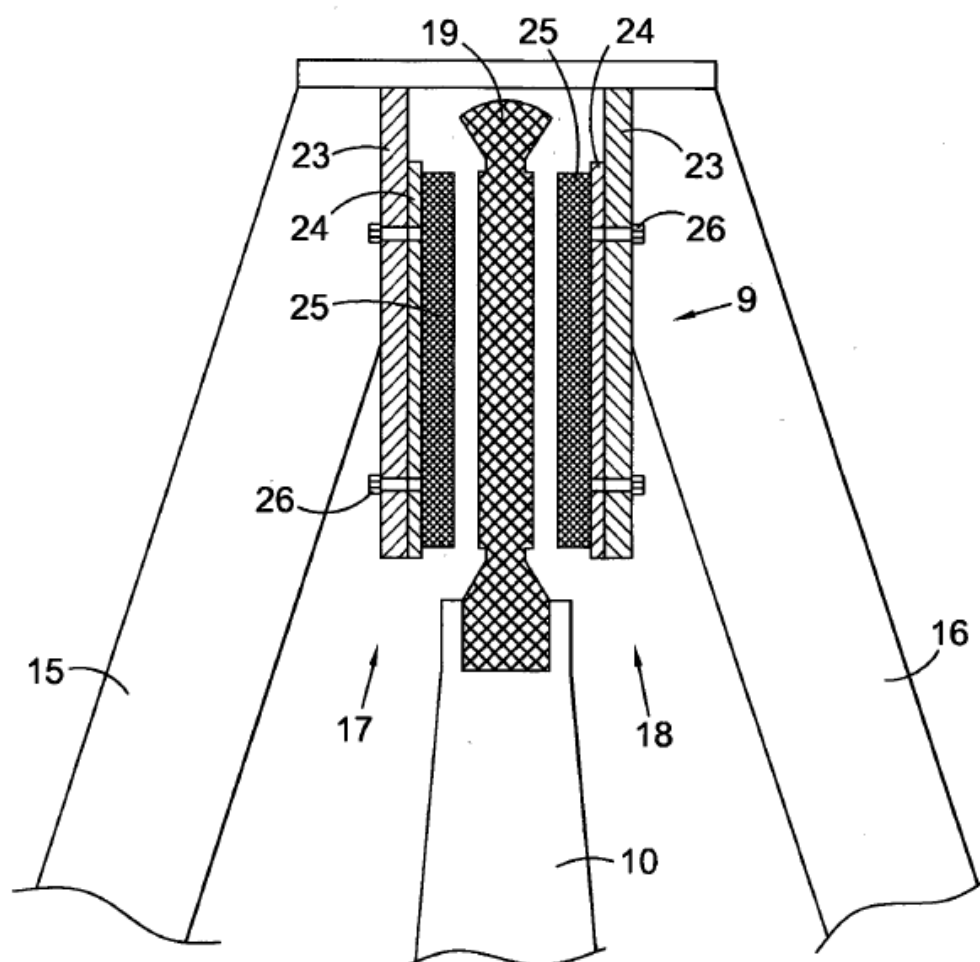


Fig. 7

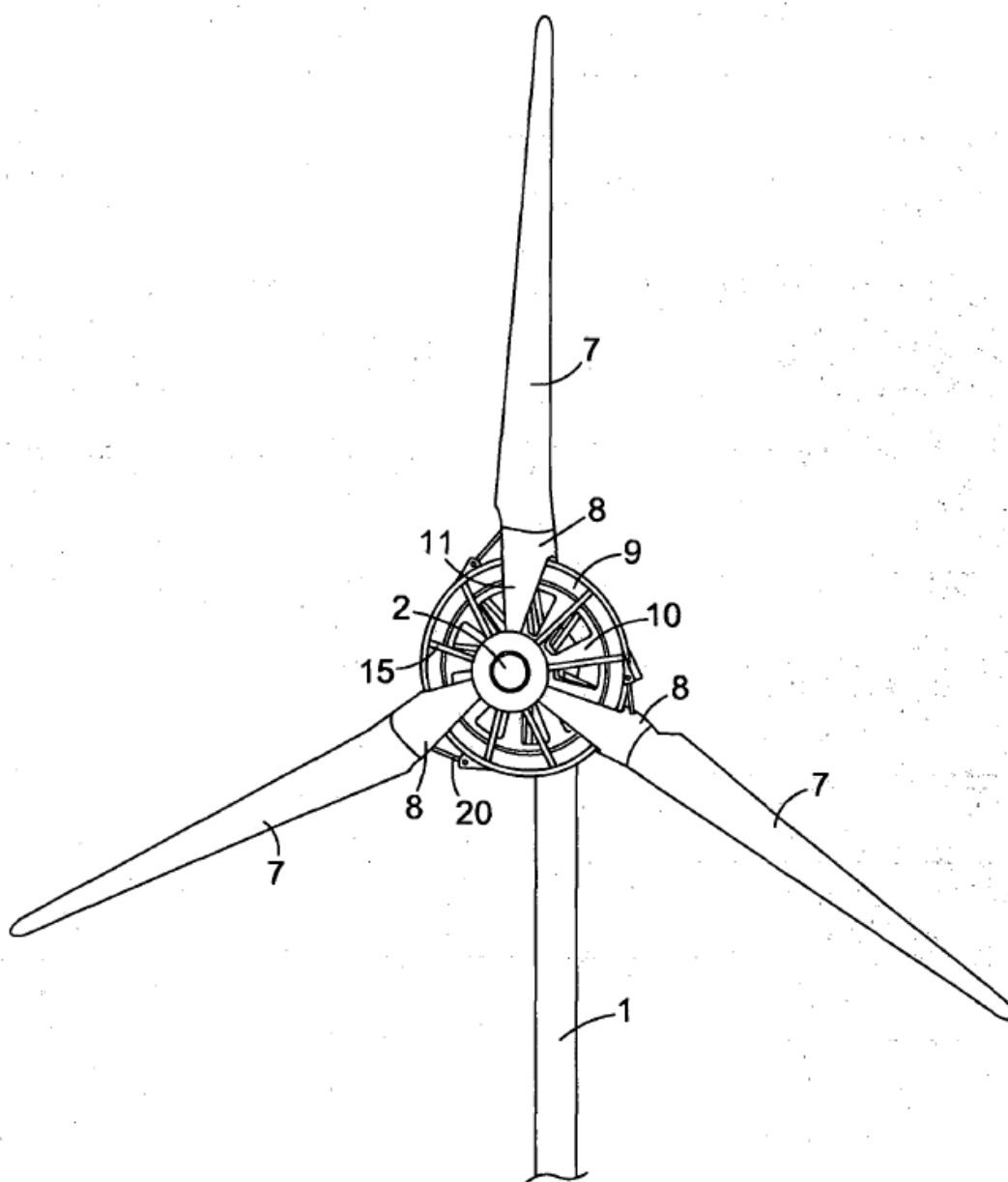


Fig. 8