

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 016**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 80/50** (2006.01)

**F03D 80/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.03.2014 PCT/EP2014/000643**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14146764**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2014 E 14709560 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 2981709**

54 Título: **Procedimiento para detener una turbina eólica y turbina eólica para la realización del procedimiento**

30 Prioridad:

**18.03.2013 DE 102013004580**

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

**31.05.2019**

73 Titular/es:

**WIND-DIRECT GMBH (100.0%)  
P6, 26  
68161 Mannheim, DE**

72 Inventor/es:

**MUIK, TOBIAS**

74 Agente/Representante:

**AZNÁREZ URBIETA, Pablo**

**ES 2 715 016 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).

**DESCRIPCION**

Procedimiento para detener una turbina eólica y turbina eólica para la realización del procedimiento

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la detención de una turbina eólica, así como a una turbina eólica para la realización del procedimiento según el concepto general de las reivindicaciones 1 y 8.
- 10 Turbinas eólicas modernas, ver por ejemplo la patente US 2011/260461 A1, en el rango de multimegavatios están normalmente provistas de álabes de rotor que mediante un dispositivo de ajuste pueden hacerse girar alrededor de un eje central longitudinal para alejarlos del viento, si es necesario, lo cual se conoce en los círculos profesionales como “rotor-pitch”. Si se alejan del viento los álabes del rotor, se reduce la superficie de acción eólica del rotor y se minimiza el par aerodinámico en el eje de transmisión. Como este freno aerodinámico descrito es normalmente el único freno, es necesario proveer cada álabe de rotor con un sistema pitch completamente redundante, de manera que en caso de fallar un álabe o su correspondiente dispositivo de ajuste, puedan alejarse del viento de forma fiable el resto de álabes y así garantizar una reducción segura de la velocidad. Después del proceso de frenado el rotor permanece normalmente en el llamado “modo ralentí”, en el cual los álabes de rotor se mueven libremente en el viento a modo de bandera. Así la turbina no se detiene totalmente, pero disminuye las cargas aerodinámicas sobre el rotor y la torre.
- 15
- 20 Solo se requiere una parada del rotor para trabajos de mantenimiento y reparación en la parte giratoria de la turbina, por ejemplo, en la parte del dispositivo de ajuste del lado del buje, o en el rotor, etc. Para detener la turbina eólica para este tipo de trabajos, es conocido desacelerar la turbina mediante un dispositivo de frenado mecánico en el sistema de propulsión y detener el rotor de forma positiva en la posición angular deseada, en la que, en particular, se crea un acceso a la parte giratoria del rotor del lado del buje. Dicha detención positiva está determinada en normas prescritas y consiste en introducir a mano un perno de bloqueo desde el estator hasta un correspondiente orificio receptor. Para poder introducir el perno de bloqueo desde cualquier posición del rotor, es conocido en la práctica guiar el rotor a la posición deseado, por ejemplo mediante un generador accionado por motor. La desventaja en este contexto es que se necesita además un convertidor de frecuencia de cuatro cuadrantes y un codificador de posición para la posición del rotor, lo cual encarece la turbina eólica. En caso de no estar operativo el convertidor (por ejemplo por falta de red de abastecimiento) se da además la posibilidad, en caso de suficiente viento, de aproximarse a la deseada posición del rotor por medio de un ajuste manual preciso de los álabes y un accionamiento simultáneo del freno mecánico, para después introducir el perno de bloqueo manualmente en el lado del rotor del orificio receptor. Sin embargo, en la práctica esto requiere relativamente mucha experiencia y personal formado, ya que el freno mecánico y el ajuste de los álabes del rotor deben modificarse al mismo tiempo dependiendo de la respectiva velocidad y dirección del viento.
- 25
- 30 Actualmente se utilizan frenos de rotor electromecánicos e hidráulicos. Los dispositivos de frenado hidráulico ampliamente extendidos en el mercado tienen la desventaja de que fugas de aceite y válvulas desgastadas en el sistema hidráulico pueden provocar a menudo una falta de fuerza de frenado hasta una caída total del sistema de frenado. Trabajos de mantenimiento frecuentes en el sistema hidráulico conllevan elevados costes de mantenimiento y largos tiempos de inactividad de la turbina eólica. Especialmente en instalaciones de alta mar los costes de mantenimiento y los tiempos de inactividad a causa de un sistema hidráulico defectuoso son mucho más altos que en instalaciones en tierra firme.
- 35
- 40 Los conocidos frenos de rotor electromecánicos ofrecen mayor fiabilidad y una mejor capacidad de funcionamiento que los frenos de rotor hidráulicos. En éstos las pastillas de freno se mueven por medio de un motor eléctrico. Las ventajas esenciales del freno de rotor electromecánico con respecto al sistema hidráulico consisten en una construcción compacta del sistema de frenado al suprimirse el agregado hidráulico y reducirse el número de piezas de construcción. Aunque los sistemas de frenado de rotor electromecánicos ofrecen mayor seguridad de la instalación y requieren menos mantenimiento, también en este sistema es necesario cambiar las pastillas de freno desgastadas.
- 45
- 50 En turbinas eólicas con transmisión entre la turbina y el generador, se instala el freno del rotor mecánico generalmente en el lado del generador que funciona a mayor velocidad, debido al menor par motor y al reducido volumen asociado a éste. Sin embargo, en una turbina eólica accionada directamente, el par de motor del lado de la turbina debe ser absorbido por el freno. Por eso el dispositivo de frenado conlleva un volumen de construcción grande y conduce a un considerablemente mayor espacio en la góndola.
- 55 Sin embargo, a pesar de las desventajas mencionadas anteriormente, no se puede prescindir de frenos mecánicos de rotor en las turbinas eólicas conocidas, ya que de lo contrario no sería posible desacelerar y detener el rotor cuando el convertidor no esté operativo.

Por consiguiente, es un objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento para detener el rotor de una turbina eólica y una turbina eólica para llevar a cabo dicho procedimiento, en los cuales se pueda suprimir el uso de un dispositivo de frenado mecánico adicional.

5 Este objetivo se alcanza mediante las características de las reivindicaciones 1 y 8.

En las reivindicaciones dependientes se describen otras características de la invención.

10 Según la invención, el procedimiento para detener el rotor de una turbina eólica, que acciona un generador y dispone de al menos un álabe de roto ajustable alrededor de su eje longitudinal mediante un dispositivo de ajuste desde una posición operativa a una posición de bandera, en la cual no se ejerce sustancialmente ningún par motor sobre el rotor, pudiéndose bloquear el rotor contra una rotación introduciendo un perno de bloqueo en un orificio receptor del lado del rotor, se caracteriza porque, mediante un cortocircuito de al menos un devanado del estator del generador, se traslada el rotor a un movimiento rotativo lento con una velocidad de rotación tan baja que es posible introducir el perno de bloqueo en el orificio receptor del lado del rotor, estando éste girando.

15 En este caso, el procedimiento según la invención requiere un generador, en particular un generador síncrono de excitación por imanes permanentes, aprovechando la invención el efecto físico de que el campo del rotor del generador existente de forma permanente con independencia de la red de suministro, induce en cada movimiento del rotor una tensión eléctrica en el correspondiente devanado del estator. Si el generador es un generador síncrono de excitación eléctrica, en caso de falta de red de suministro se llevará a cabo el accionamiento con la ayuda de baterías. Mediante un cortocircuito adecuado del devanado del estator y un accionamiento o apertura de un interruptor de cortocircuito, con el que se cortocircucitan entre sí preferiblemente las tres fases del generador según el diagrama de circuito equivalente de la máquina en la figura 2, se aprovecha después la fuerza resultante electromagnética de frenado del generador, para llevar al rotor, impulsado por el viento con un par motor relativamente bajo a causa de la posición casi de bandera de los álabes del rotor, a la posición de bloqueo, en la que se puede introducir el perno de bloqueo en el correspondiente orificio.

20 Aunque la velocidad de rotación del rotor no puede reducirse a cero debido al contrapar generado electromagnéticamente, sino que el rotor siempre debe girar aunque sea a una velocidad muy baja para generar el efecto de frenado, el solicitante ha apreciado que la velocidad de movimiento que se produce es lo suficientemente lenta como para poder acoplar mecánicamente de manera fiable el rotor de la turbina con el estator introduciendo el perno de bloqueo al alcanzar la posición de bloqueo y así poder detener el rotor de la turbina eólica de manera fiable cuando se trabaja en el rotor. Por lo tanto, ya no es necesario un dispositivo de frenado mecánico complejo y que requiera mucho mantenimiento.

30 En el ejemplo de realización preferido de la invención el procedimiento comprende las fases descritas a continuación.

35 Primero, la turbina eólica se coloca en el modo ralentí, de modo que al menos un álabe del rotor, pero preferiblemente todos los álabes del rotor, se muevan desde la posición operativa a la posición de bandera. Si se ha establecido de manera fiable el modo ralentí, se detecta o verifica la velocidad del viento y / o la dirección del mismo y luego se orienta la góndola de la turbina eólica de forma que el eje del rotor apunte sustancialmente en la dirección del viento. A continuación, se comprueba la velocidad del rotor y se verifica el modo ralentí de modo que la velocidad del rotor sea sustancialmente cero. Posteriormente, se cortocircuita al menos un devanado de estator del generador, que es en particular un generador síncrono de excitación mediante un imán permanente de accionamiento directo, para iniciar el movimiento de rotación lenta del rotor. A continuación, para alcanzar la posición de bloqueo deseada, se ajusta el al menos un álabe de rotor en función de la fuerza del viento con respecto a la posición de bandera. Una vez alcanzada la posición de bloqueo se introduce el perno de bloqueo en los orificios receptores. Posteriormente, el al menos un álabe de rotor retorna preferiblemente a la posición de bandera.

40 En el ejemplo de realización preferido del procedimiento según la invención, para dirigirse a la posición de bloqueo desde la posición de bandera (90 °), al menos un álabe del rotor se ajusta en un intervalo angular de entre aproximadamente 95 ° y 85° grados con respecto al plano de rotación del rotor. En este caso el ángulo respectivo se ajusta y cambia, en particular, manualmente, en función de la velocidad y/o la dirección del viento imperantes en el momento. En el ejemplo de realización preferido del procedimiento, durante la aproximación a la posición de bloqueo, se ajusta progresivamente el ángulo a dicho intervalo, para mantener la velocidad de rotación del movimiento lento de rotación, preferiblemente sustancialmente constante y por debajo de un límite superior máximo.

55 La velocidad de rotación del rotor durante el movimiento lento de rotación se ajusta, mediante el sistema pitch del o de los álabes del rotor, de tal modo que sea inferior a 1 grado/s, en particular, entre 0,00 y 0,15 grados/s.

De acuerdo con otro de los conceptos subyacentes de la invención, puede ser apropiado reducir aún más la velocidad de rotación del movimiento lento de rotación poco antes de alcanzar la posición de bloqueo ajustando el ángulo del álabe del rotor en la dirección de la posición de bandera, para reducir aún más las fuerzas ejercidas por el rotor sobre el perno de bloqueo después de haberlo introducido en el orificio receptor del lado del rotor.

5 Aunque el seguimiento del viento de la góndola se realiza preferiblemente de forma manual en función de la velocidad y/o la dirección del viento imperantes, puede ser ventajoso, especialmente en grandes turbinas eólicas, que la velocidad y/o dirección del viento y/o la orientación de la góndola y/o la determinación de la velocidad del rotor y verificación del modo ralenti y, preferiblemente también el cortocircuito de al menos un devanado del estator o el acercamiento a la posición de bloqueo deseada se realice de forma automática. De manera similar, la introducción del perno de bloqueo en el orificio receptor al alcanzar la posición de bloqueo se puede realizar no solo a mano, sino también mediante un accionamiento de motor, o al ejercer una fuerza elástica sobre el perno, por ejemplo, mediante un resorte precargado, que empuje al tornillo en la dirección del orificio receptor.

10 Según otra idea inventiva, para llevar a cabo el procedimiento antes descrito, una turbina eólica comprende un rotor que acciona un generador y tiene al menos un álabe de rotor ajustable mediante un dispositivo de ajuste desde una posición operativa hasta una posición de bandera, pudiéndose bloquear el rotor contra la rotación en una posición de bloqueo, introduciendo un perno de bloqueo en un orificio receptor del lado del rotor. La turbina eólica se caracteriza porque tiene un interruptor de cortocircuito, en particular en forma de un interruptor operable manualmente en la góndola, mediante el cual al menos un devanado del estator, pero preferiblemente todos los devanados del estator del generador pueden cortocircuitarse uno contra otro y entre sí para llevar el rotor a un movimiento de rotación lento con una velocidad de rotación tan baja que se pueda introducir el perno de bloqueo en el orificio receptor del lado del rotor estando éste girando.

15 El generador es preferiblemente un generador síncrono de excitación mediante un imán permanente de accionamiento directo. Aunque los imanes permanentes para aumentar el par de frenado del generador cortocircuitado en el movimiento de rotación lenta se sitúan radialmente fuera de las bobinas del estator, también es posible disponerlos radialmente hacia dentro con respecto a dichas bobinas del estator.

20 El generador tiene ventajosamente varias bobinas de estator cuyos devanados en este caso están preferiblemente conectados entre sí de una manera eléctricamente conductora a través del interruptor de cortocircuito, para permitir el movimiento rotatorio lento del rotor. En este ejemplo de realización de la invención, el interruptor de cortocircuito está diseñado, por ejemplo, como un interruptor de contactos escalonados y comprende una pluralidad de interruptores individuales asociados a los devanados del estator, que se pueden accionar por separado. Por medio de éstos, se pueden cortocircuitar los devanados del estator individualmente para producir pares de frenado de diferente intensidad, pudiéndose cortocircuitar en el caso de un interruptor de múltiples etapas, p. ej. en la primera etapa, un devanado de estator, en la segunda etapa dos devanados de estator y en la tercera etapa, los tres devanados de estator.

25 A continuación se describe la invención, con ayuda de los dibujos, utilizando el ejemplo de una turbina eólica según la invención para realizar el procedimiento según la invención descrito anteriormente.

40 Los dibujos muestran lo siguiente:

Figura 1 una representación esquemática de una turbina eólica según la invención  
 45 Figura 2 la figura 2 muestra un diagrama de circuito eléctrico equivalente que representa el generador cortocircuitado durante el movimiento lento de rotación.

50 Como se muestra en la Figura 1, una turbina eólica 1 según la invención comprende una torre 2, que se muestra solo en secciones, con una góndola 4 que puede pivotar alrededor del eje longitudinal de la torre y acoge un rotor 6 giratorio a través de los cojinetes 8 indicados esquemáticamente. El rotor 6 comprende dos, tres o más álabes de rotor 10, de los cuales al menos un álabe de rotor 10, aunque preferiblemente todos los álabes de rotor, puede girar alrededor de su eje 14 de álabe de rotor mediante un dispositivo de ajuste 12, mostrado esquemáticamente, con el fin de que pase de la posición operativa ilustrada a una posición designada como posición de bandera en la que el ángulo entre un plano central imaginario del álabe de rotor 10 y el plano de rotación, soportado por el rotor giratorio 6, sea de 90 °.

55 Como puede apreciarse también en la ilustración de la Figura 1, el rotor 6 está acoplado de manera impulsora a un generador 16 que está configurado en la realización ilustrada de la turbina eólica 1 según la invención como un generador síncrono de rotor externo accionado directamente, en el cual el rotor 18 del generador, dispuesto radialmente en el exterior, comprende en su lado interno circunferencialmente imanes permanentes 20, que se extienden con su lado interno a una distancia corta alrededor del estator 22 sujeto al bastidor de la góndola 4 o la torre 2. Frente a los imanes permanentes, se

han dispuesto en el estator 22 del generador 16 una pluralidad de devanados de estator 24, que están conectados entre sí de tal manera que se induce una tensión alterna en los devanados de estator 24 durante una rotación del rotor 6 que se toma en las tres fases indicadas esquemáticamente 26a, 26b y 26c de los devanados del estator 24 y que alimenta una red eléctrica, como es conocido, a través de un inversor o similar, no mostrado.

Como se muestra también en la ilustración de la figura 1, se ha dispuesto preferiblemente un interruptor de cortocircuito 28 dentro de la góndola 4, que puede ser accionado por un operador presente en la góndola 4, preferiblemente a mano según la flecha doble 30, para cortocircuitar eléctricamente entre sí las tres fases 26a, 26b y 26c o para separar la conexión de la línea en cortocircuito.

De esta manera, ajustando los álabes del rotor 10 desde la posición de bandera hasta una posición de preferiblemente alrededor de  $95^\circ$  y  $85^\circ$  grados con respecto al plano de rotación del rotor 6, es posible llevar el rotor hasta un movimiento de rotación con una velocidad de rotación tan lenta, que permita introducir un perno de bloqueo 32, mostrado de forma esquemática, alojado de manera deslizable en un orificio de guía fijo 34 conectado con el estator 22 del generador 16 o con la góndola 4, en un orificio receptor 36 del lado del rotor 6 que se mueve junto con el rotor estando éste girando.

En la Fig. 2, se muestra el diagrama de circuito eléctrico equivalente del generador 16 en cortocircuito, donde  $U_p$  es la tensión de fase (tensión generada por la inducción de movimiento en una fase),  $L_h$  es la inductancia principal de una fase,  $L_\sigma$  significa la inductancia de dispersión de una fase y  $R_s$  la resistencia de fase del devanado de estator 24.

**Lista de referencias numéricas de los dibujos**

- 1 turbina eólica según la invención
- 2 torre
- 4 góndola
- 6 rotor
- 8 cojinetes para rotor.
- 10 álabes
- 12 dispositivo de ajuste
- 14 eje de álabes
- 16 generador
- 18 rotor de generador
- 20 imanes permanentes
- 22 estator del generador
- 24 devanado de estator
- 26a, b, c fases
- 28 interruptor de cortocircuito
- 30 flecha doble
- 32 perno de bloqueo
- 34 orificio de guía fijo
- 36 orificio receptor del lado del rotor
- $U_p$  tensión de fase
- $L_h$  inductancia principal de una fase
- $L_\sigma$  inductancia de dispersión de una fase
- $R_s$  resistencia de fase del devanado de estator

**Reivindicaciones**

- 5 1. Procedimiento para detener el rotor (6) de una turbina eólica (1) que tiene al menos un álabe de rotor (10) que se puede ajustar sobre su eje longitudinal mediante un dispositivo de ajuste (12) desde una posición operativa hasta una posición de bandera, en la que prácticamente no se aplica ningún par de motor sobre rotor (6), accionando el rotor (6) un generador (16) y pudiéndose bloquear contra la rotación en una posición de bloqueo, introduciendo un perno de bloqueo (32) en un orificio receptor (36) del lado del rotor, **caracterizado porque** cortocircuitando al menos un devanado de estator (24) del generador (16) se lleva el rotor (6) hasta un movimiento de rotación lenta con una velocidad de rotación tan baja que permite introducir el perno de bloqueo (32) en un orificio receptor (36) del lado del rotor, estando el rotor (6) girando.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por las siguientes fases de procedimiento:
- 15 Llevar la turbina eólica (1) a un modo de funcionamiento al ralentí ajustando al menos un álabe de rotor (10) desde una posición operativa hasta una posición de bandera  
 Verificación de la velocidad y/o dirección del viento  
 Posicionamiento de la góndola (4) de la turbina eólica (1) de forma que el eje de rotor esté esencialmente dirigido hacia la dirección del viento
- 20 Comprobación de la velocidad del rotor y verificación del funcionamiento al ralentí, cortocircuito de al menos un devanado de estator (24) para llevar al rotor (6) a un movimiento de rotación lenta  
 Aproximación a la posición de bloqueo deseada ajustando al menos un álabe de rotor (10), e  
 Introducción del perno de bloqueo (32) en el orificio receptor (36) una vez alcanzada la posición de bloqueo
- 25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** al menos un álabe (10) de rotor para aproximarse a la posición de bloqueo desde la posición de bandera (90°) se ajusta en un intervalo angular de entre aproximadamente 95° y 85° grados con respecto al plano de rotación del rotor.
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** la velocidad de rotación del movimiento de rotación lenta está por debajo de 1 grado/s, preferiblemente entre 0,00 y 0,15 grados/s.
- 35 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado porque** el ajuste del álabe (10) se realiza manualmente en función de la velocidad y/o dirección del viento imperantes en el momento.
- 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** la orientación de la góndola (4) hacia el viento se realiza manualmente en función de la velocidad y/o dirección del viento imperantes en el momento.
- 45 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado porque** la comprobación de la velocidad y/o la dirección del viento, la orientación de la góndola (4), la comprobación de la velocidad del rotor y la verificación del modo de funcionamiento al ralentí, el cortocircuito de al menos un devanado de estator (24), la aproximación a la posición de bloqueo deseada y / o la introducción del perno de bloqueo (32) en el orificio receptor al alcanzar la posición de bloqueo se realiza de forma automática.
- 50 8. Turbina eólica (1) para llevar a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, que comprende un rotor (6) que acciona un generador (16) y dispone de al menos un álabe (10), que es ajustable mediante un dispositivo de ajuste (12) desde una posición operativa hasta una posición de bandera, pudiéndose detener el rotor (6) en una posición de bloqueo contra la rotación introduciendo un perno de bloqueo (32) en un orificio receptor (36) del lado del rotor, **caracterizado porque** se ha dispuesto un interruptor de cortocircuito (28), mediante el cual, cortocircuitando al menos un devanado de estator (24) del generador (16), se puede llevar el rotor (6) hasta un movimiento de rotación lenta con una velocidad de rotación tan baja que permite introducir el perno de bloqueo (32) en un orificio receptor (36) del lado del rotor estando éste girando.
- 55 9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el generador (16) es un generador síncrono de excitación mediante un imán permanente de accionamiento directo.
- 60 10. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el generador es preferiblemente un generador síncrono de excitación eléctrica accionado directamente, y porque el devanado de excitación para generar el movimiento de rotación lenta está conectado a una batería.

5

11. Dispositivo según una de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado porque** el generador (16) tiene una pluralidad de devanados de estator (24) y porque el interruptor de cortocircuito (28) comprende una pluralidad de interruptores individuales asociados a los devanados de estator, que pueden accionarse por separado y mediante los cuales pueden cortocircuitarse los devanados de estator (24) individualmente o en grupos para generar pares de frenado de diferente intensidad.

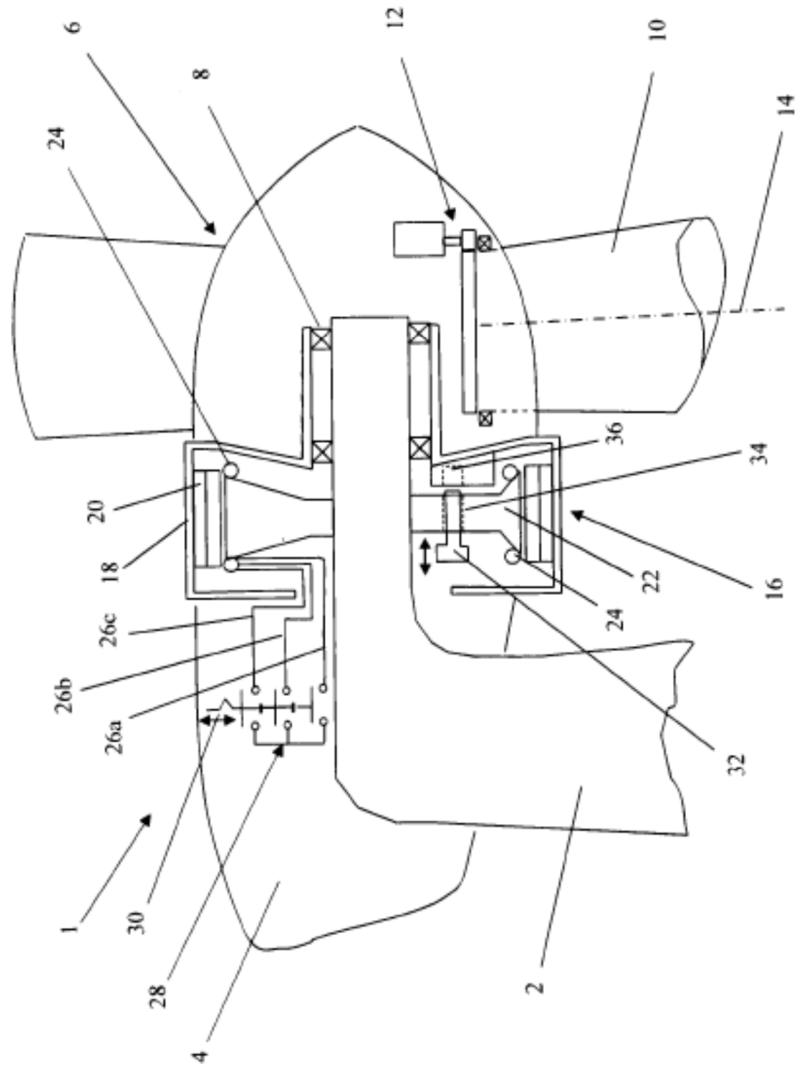


Fig. 1



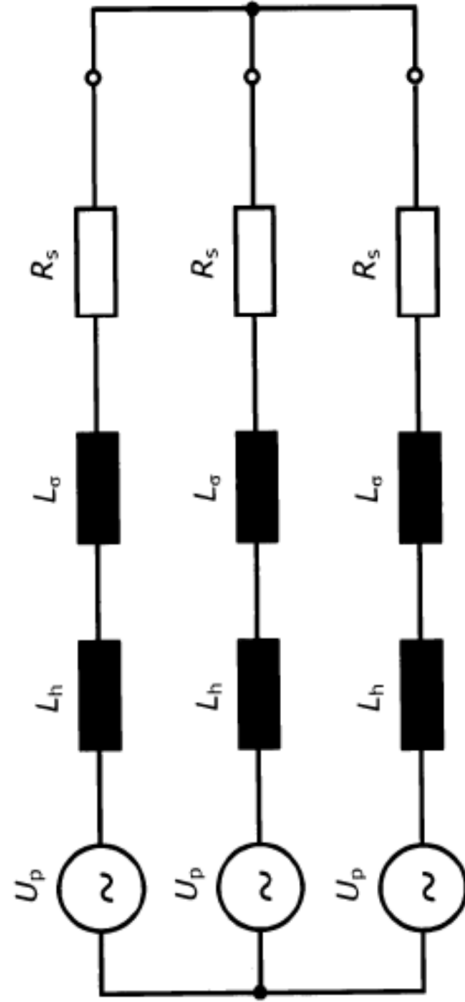


Fig. 2