

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 209**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02018224 .2**

96 Fecha de presentación: **20.08.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1286048**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.02.2003**

54 Título: **DISPOSITIVO PARA AJUSTAR PALAS DE ROTOR DE UNA MÁQUINA EÓLICA
GENERADORA DE POTENCIA.**

30 Prioridad:
20.08.2001 DE 10140793

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.11.2011

73 Titular/es:
**GENERAL ELECTRIC COMPANY
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:
**Weitkamp, Roland;
Lütze, Henning;
Riesberg, André y
Anemüller, Jochen**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 368 209 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

Dispositivo para ajustar palas de rotor de una máquina eólica generadora de potencia

La invención se refiere a un dispositivo para ajustar una pala de rotor que se extiende hacia afuera en su eje longitudinal afuera de un cubo de rotor de un rotor de una máquina eólica generadora de potencia en torno a un ángulo ajustable acimutal respecto del eje longitudinal, así como a métodos para accionar este dispositivo.

El control o la regulación del ajuste angular acimutal de las palas de rotor de los rotores en máquinas eólicas generadoras de potencia hacen posible reducir el ángulo de incidencia a velocidades altas del viento. De este modo pueden limitarse las revoluciones del rotor y el desempeño del generador accionado por el rotor y puede impedirse una sobrecarga de los componentes mecánicos y eléctricos de la máquina eólica generadora de potencia. Desde hace muchos años se conocen sistemas correspondientes que se accionan eléctrica o hidráulicamente. Entre éstos se encuentran sistemas con accionamiento ajustable que están dispuestos en el cubo del rotor o en una sección tubular que está conectada con la pala de rotor de manera que no haya torque. Además, también se conocen sistemas que se integran directamente a la pala de rotor (DE-A-196 34 059).

También hay sistemas ajustables parcialmente redundantes para palas de rotor en los que, a manera de ejemplo, se combina un ajuste central hidráulico colectivo con tres sistemas de ajuste individuales hidráulicos, instalados en el cubo del rotor, que cubren sin embargo individualmente solo una parte del rango de ajuste que se requiere para una operación de carga baja. También hay desarrollos aislados de sistemas de accionamiento completamente redundantes para el ajuste de palas de rotor. Sin embargo, estos no tienen redundancia para el caso del bloqueo de la conexión rotante entre la pala de rotor y el cubo de rotor.

Por ejemplo, si en el caso de una desconexión de la red o en caso de una parada de emergencia del sistema de ajuste, falla una de las palas de rotor, esta pala de rotor permanece en su posición de operación mientras que las otras palas de rotor se ajustan a su posición de frenado. Principalmente en caso de rotores grandes, de 100 m y más, el desequilibrio aerodinámico que resulta de esto conduce a cargas tan altas que representan el caso de carga extrema a tomarse en consideración para el diseño de muchos componentes principales de la turbina.

En el caso de anillo de rodamiento de pala de rotor según DE 196 34 059 se empalma un anillo de rodamiento al cubo de rotor y otro anillo de rodamiento al acople de la pala. También se empalma un accionamiento de ajuste al acople de la pala y actúa sobre el cubo de rotor.

El problema que sirvió de base para la invención es construir un dispositivo del tipo antes nombrado que garantice una confiabilidad elevada mediante una redundancia completa y, no obstante, haga posible compensar el gasto excesivo requerido para esto mediante ahorros en el diseño de la máquina eólica generadora de potencia.

De acuerdo con la invención, este problema se resuelve porque el dispositivo tiene dos sistemas de ajuste independientes entre sí, cada uno de los cuales también da lugar al ajuste de la pala de rotor incluso en el caso de falla del otro sistema de ajuste respectivo.

En el dispositivo de acuerdo con la invención el movimiento de ajuste acimutal de la pala de rotor se compone de los movimientos de ajuste de ambos sistemas de ajuste. Debido a que estos últimos son independientes entre sí, en el caso de falla de uno de los dos sistemas de ajuste la pala de rotor siempre se sigue ajustando por el otro sistema, respectivamente. Mediante una disminución marcada de las cargas extremas dimensionantes, el gasto requerido para esta completa redundancia (respaldo) es más que compensado, principalmente en el caso de máquinas generadoras eólicas en el rango de multi-megavatios.

Se entiende que para cada pala de rotor del rotor ha de proporcionarse un dispositivo de acuerdo con la invención. Por ejemplo, los rotores con dos o tres palas de rotor tienen dos o tres dispositivos según la invención. De manera conocida, la energía de accionamiento para los sistemas de ajuste puede ser de naturaleza hidráulica, eléctrica o mecánica; esta última aprovecha la energía de rotación del rotor. Pueden proporcionarse almacenadores de energía de accionamiento para cada dispositivo de manera independiente entre sí. Pero de manera alternativa también puede utilizarse en común un único almacenador de energía de accionamiento para todas las palas de rotor de un rotor. Además, la energía de accionamiento también puede obtenerse de todos modos a partir de fuerzas internas o externas que operan en cada pala de rotor, tales como fuerzas del aire, de la masa, de inercia o fuerzas centrífugas.

El dispositivo de la invención comprende además que ambos sistemas de ajuste tengan entre el cubo de rotor y la pala de rotor, cada uno, una conexión rotante ajustable por la transmisión. Esto puede realizarse, por ejemplo, colocando el sistema de ajuste adicional en el sistema de ajuste suministrado en el cubo de rotor de manera convencional. Sin embargo, de manera alternativa, ambos sistemas de ajuste también pueden estar dispuestos por fuera del cubo de rotor y a una distancia del mismo a lo largo del eje longitudinal de la pala de rotor. Con el término accionamiento (transmisión), utilizado en esta descripción y en las reivindicaciones, quedan abarcados todos los

sistemas corrientes de accionamiento o transmisión como, por ejemplo, accionamientos eléctricos, cilindros hidráulicos, ejes roscados y similares.

Además, ambas conexiones rotantes están dispuestas de manera esencialmente concéntrica entre sí. En este caso adoptan la misma posición radial con respecto al eje de rotor. Luego, las pestañas de la pala de rotor y el cubo de rotor que sirven para acoplarse a las conexiones rotantes pueden hacerse con diámetros distintivamente diferentes. En ciertas condiciones marginales, como por ejemplo restricciones de transporte-logística, esto puede contribuir ventajosamente a optimizar económicamente la máquina eólica generadora de potencia.

Con respecto a un diseño modular simple, es ventajoso disponer ambas conexiones rotantes a lo largo del eje longitudinal de la pala de rotor separadas axialmente una de otra, principalmente una de las dos conexiones rotantes y su transmisión en el cubo de rotor y la otra y su transmisión fuera del cubo de rotor. En este caso un sistema de ajuste se encuentra en el cubo de rotor y el otro como unidad propia a una distancia axial de cada pestaña de acople del cubo de rotor.

El diseño estructural se vuelve particularmente simple disponiendo la conexión rotante y su transmisión fuera del cubo de rotor en un componente tubular que se extiende axialmente entre las dos conexiones rotantes. En tal caso, el componente tubular también puede servir para albergar un almacenador de energía de accionamiento para el sistema de ajuste. El componente tubular puede utilizarse simultáneamente para efectuar adaptaciones del diámetro de rotor en diferentes sitios con la misma pala de rotor. Los componentes tubulares de diferente longitud (extender) requeridos para esto pueden producirse de materiales aglutinados de fibra, por ejemplo material sintético reforzado con fibra de vidrio o fibra de carbono. Para esto un proceso de arrollamiento es preferiblemente adecuado.

Además, una forma de realización conveniente consiste en que una de las dos conexiones rotantes y su transmisión está dispuesta en el cubo de rotor y la otra conexión rotante y su transmisión está directamente en la pala de rotor. Esto es conveniente principalmente para lugares de viento fuerte en los que es ventajoso un diámetro de rotor más pequeño. El segmento intermedio formado por el componente tubular (extender) se omite en este caso. La transmisión de la conexión rotante dispuesta en la pala de rotor y también otros componentes relacionados con esto pueden estar dispuestos tanto dentro como también fuera de la pala de rotor.

En el contexto de la invención se prevé principalmente que ambos sistemas de ajuste puedan activarse simultáneamente. De esta manera, al diseñar económicamente el dispositivo, pueden lograrse las velocidades de ajuste requeridas en caso de una parada de seguridad porque las velocidades de ajuste de los sistemas individuales de ajuste se suman. Como ejemplo puede considerarse una máquina eólica generadora de potencia cuyo rotor tiene tres palas de rotor y en la cual la velocidad de ajuste requerida debe ser de 7%^s. Esta máquina eólica generadora de potencia tiene entonces tres dispositivos de ajuste, cada uno con dos sistemas de ajuste independientes entre sí; es decir, en total tiene seis sistemas de ajuste. De éstos, tres pueden diseñarse para una velocidad máxima de ajuste de 3%^s y los otros tres para 4%^s, por ejemplo. En el caso de un dimensionamiento robusto de la máquina eólica generadora de potencia es suficiente que los tres sistemas de ajuste estén equipados con la velocidad de ajuste más baja, con solo una transmisión y/o almacenador de energía en común (sistema colectivo de ajuste), mientras que los sistemas de ajuste con la velocidad más grande se forman de manera independiente entre sí. En total, entonces, se presentan cuatro sistemas de ajuste completamente independientes. Al fallar un único sistema de ajuste, se ajustan entonces dos palas de rotor con 7%^s y una pala de rotor con 3%^s. Sin embargo, si falla el sistema colectivo, se ajustan todos las tres palas de rotor con 4%^s. Ambos tipos de falla conducen a cargas considerablemente más bajas que en el caso del estado de la técnica donde el bloqueo de una conexión rotante conduce al ajuste de dos palas de rotor con 7%^s, mientras que la tercera pala de rotor ya no se mueve en absoluto. En máquinas eólicas generadoras de potencia altamente optimizadas es conveniente, sin embargo, que todos los sistemas de ajuste (en el caso de un rotor con tres palas de rotor, seis sistemas de ajuste) estén equipados de manera completamente redundante, de modo que esté disponible la velocidad completa de ajuste en dos ejes de pala de rotor en cada caso de falla.

Otra modalidad ventajosa consiste en que la velocidad de ajuste acimutal resultante del accionamiento de ambos sistemas de ajuste es controlable de manera variable. Para reducir la carga sobre la torre en el caso de una desconexión de seguridad en grandes turbinas eólicas por empuje negativo de la torre (empuje inverso), ha demostrado ser muy ventajoso que al hacer actuar la cadena de seguridad se realiza el ajuste de las palas de rotor en su posición segura de bandera, no con velocidad de ajuste constante sino con velocidad de ajuste variable durante el procedimiento de ajuste. Según el concepto de máquina, por ejemplo dependiendo del número de palas de rotor, de las revoluciones de rotor, de la elasticidad de las palas de rotor y de la torre, puede ser lo más favorable controlar la velocidad de ajuste dependiendo del tiempo, del ángulo de pala de rotor o de la distancia de ajuste.

Por supuesto, surge el problema técnico de que la función de ajuste de seguridad en máquinas eólicas generadoras de potencia debe realizarse solo con los componentes electromecánicos más simples para asegurar que el sistema permanezca completamente funcional incluso después del impacto de un rayo. En el contexto de la invención esto puede hacerse de una manera particularmente simple y a prueba de fallas, mediante el control de la velocidad de ajuste de un sistema de ajuste dependiendo de la distancia de ajuste del otro sistema de ajuste.

Por ejemplo, de esta manera puede establecerse muy simplemente una marcha decreciente lineal de la velocidad de ajuste efectiva total desde un valor inicial máximo, a un ángulo de pala de rotor de 0°, hasta un valor más bajo que alcanza la mitad del valor inicial máximo, a un ángulo de pala de rotor de 90°, es decir una marcha trapezoidal de la velocidad de ajuste. Si falla aquí uno de los dos sistemas de ajuste, el otro sistema de ajuste produce un ajuste con la mitad de la velocidad máxima de ajuste hasta la posición de bandera segura. En el caso de una falla, solo se recorta la región triangular de la marcha trapezoidal de la velocidad de ajuste. De esta manera, especialmente en una máquina eólica generadora de potencia que tiene un rotor con tres palas de rotor, cada una con dos sistemas de ajuste independientes, el efecto de la falla de un sistema de ajuste se reduce tanto que las cargas adicionales generadas por esto, principalmente por el desequilibrio aerodinámico y las maniobras de freno retrasado pueden recogerse sin problemas por la estructura de soporte.

El dispositivo de la invención se forma ventajosamente de tal modo que al menos uno de los sistemas de ajuste es un sistema eléctrico. Este puede tener, tal como se conoce en el estado de la técnica, una combinación eléctrica de motorreductor en la que el piñón de transmisión del motorreductor se engrane con un engranaje sobre un anillo de la conexión rotante. Principalmente pueden emplearse formaciones muy similares para ambos sistemas de ajuste de cada pala de rotor, lo cual conduce a una solución muy económica debido al efecto en serie.

Los sistemas de ajuste eléctricos pueden evolucionar ventajosamente de tal modo que se proporcione un dispositivo de monitoreo por el cual se eleve, al menos temporalmente, la velocidad de ajuste de uno de los dos sistemas de ajuste en el caso de falla del otro sistema de ajuste, respectivamente. Como dispositivo de monitoreo se consideran principalmente interruptores electromecánicos y circuitos lógicos de relé. Si se reconoce la falla de un sistema de ajuste, el otro sistema de ajuste correspondiente puede operar por poco tiempo en sobrecarga, es decir con velocidad de ajuste más alta que la nominal, por lo cual se reduce más el efecto de la falla. Puesto que los procesos de ajuste duran máximo 30 s, es posible una respuesta de sobrecarga de este tipo del sistema de ajuste implicado sin daño térmico.

Además, los sistemas de ajuste eléctricos se forman de tal manera que la velocidad de ajuste puede modificarse mediante prendido y apagado escalonado de las celdas de acumulación (baterías) que alimentan la transmisión. Este prendido y apagado puede efectuarse, por ejemplo, por interruptores electromecánicos accionados por levas en el otro sistema de ajuste, respectivamente. En este caso, por supuesto, los interruptores deben diseñarse relativamente grandes puesto que deben conectar corriente continua bajo carga.

Esto puede evitarse mediante otro diseño en el que la velocidad de ajuste varía conmutando de manera escalonada un devanado estático de la transmisión. Por ejemplo, la marcha de velocidades de ajuste puede aproximarse en tres etapas en un devanado estático diseñado de dos polos.

Según otro concepto de la invención la transmisión de uno de los sistemas de ajuste tiene un motor con excitación en serie y la transmisión del otro sistema de ajuste tiene un motor con excitación shunt. Esto tiene en cuenta la circunstancia de que en sistemas de ajuste de palas por un lado se desea un torque de arranque lo más alto posible también cuando la batería está en operación con lo cual la transmisión no se bloquea en caso de cargas máximas condicionadas por el viento. A esto corresponde la conducta de la máquina de excitación en serie. Por otra parte, en caso de cargas bajas, la velocidad de ajuste debe permanecer lo más constante posible. A esto corresponde la conducta de la máquina con excitación shunt. Usualmente el nivel de carga de la máquina eólica generadora de potencia disminuye relativamente rápido después de iniciar el proceso de ajuste. Por lo tanto es de particular ventaja equipar los dos sistemas de ajuste que actúan sobre la misma pala de rotor con estos tipos diferentes de máquinas motrices. En tal caso, durante el proceso de ajuste es particularmente ventajoso controlar el motor de excitación en serie, preferiblemente por etapas, de la manera representada previamente. En el contexto de la invención también se considera proporcionar de manera adicional o alternativa un control continuo con forma de rampa.

Por razones económicas puede ser de ventaja particular que la transmisión de uno de los sistemas de ajuste tenga un motor trifásico y la transmisión del otro sistema de ajuste tenga un motor de corriente continua. El motor trifásico requiere entonces el uso de un convertidor de frecuencia a fin de realizar la velocidad variable de ajuste para la operación de control. En el caso de una desconexión de seguridad se conecta entonces una batería al circuito intermedio de corriente continua. Esto es conocido en el estado de la técnica. Dependiendo de la redundancia requerida, puede suministrarse un único convertidos para todas las palas de rotor o de a un convertidos para cada pala de rotor. Un dispositivo combinado de este tipo, en el que un sistema de corriente trifásica y uno de corriente continua pueden actuar sobre cada pala de rotor, combina la ventaja económica del sistema de corriente trifásica con la alta confiabilidad del sistema de corriente continua.

Según otro concepto de la invención se prevé que los ejes de rotación de las dos conexiones rotantes están inclinados entre sí. De esta manera se tiene en cuenta la circunstancia de que en las grandes máquinas eólicas generadoras de potencia el doblamiento por carga de las palas de rotor se vuelve crítico y debe contrarrestarse el riesgo de una colisión debido a esto entre las palas de rotor y la torre. Una medida remedial usual para esto consiste en usar palas de rotor que, en estado descargado, tienen una pre-curvatura dirigida hacia fuera de la torre. Sin embargo, se ponen límites de construcción a una precurvatura de este tipo. De manera alterna es posible equipar

las palas de rotor con un, así llamado, ángulo de cono; es decir, inclinar el eje longitudinal de las palas de rotor hacia fuera del plano radial del eje de rotación del rotor en dirección opuesta a la torre. Los ángulos de cono usuales se encuentran entre 0,5° y 6°. Pero básicamente también son realizables ángulos de cono mayores. Aunque aquí es muy desventajoso que las palas de rotor, que están dispuestas bajo un ángulo de cono, se carguen durante toda su vida útil, por un lado por fuerzas centrífugas adicionales y por otro lado por momentos de doblado adicionales debido a su peso, los cuales actúan de manera variable durante un giro del rotor. Además, el área de rotor proyectada se reduce a medida que crece el ángulo de cono, lo cual en el caso de un ángulo de cono de 4°, por ejemplo, conduce a una pérdida de rendimiento de 0,5 %. Existe el riesgo de colisión de las palas de rotor con la torre pero solo a velocidades del viento en el rango de la velocidad nominal del viento y/o en caso de altas turbulencias del viento.

La inclinación mutua de los ejes de rotación de ambas conexiones rotantes, prevista según la invención, hace posible ajustar sin etapas el ángulo de cono de la pala de rotor en cuestión, ajustando simultáneamente, en sentido opuesto, ambas conexiones rotantes, sin modificar en tal caso de manera forzosa el ángulo de ajuste acimutal de la pala de rotor. Dependiendo de las condiciones del viento que rijan, principalmente la velocidad del viento y el grado de turbulencia, puede regularse el ángulo de cono de tal modo que se maximice el rendimiento energético, las cargas para las palas de rotor sean mínimas y aún así se excluya de manera segura una colisión de las palas de rotor con la torre. Para esto se emplea de manera conveniente un controlador de ángulo de cono integrado al control de la máquina eólica generadora de potencia. En máquinas eólicas generadoras de potencia de velocidad variable con ángulo de cono en dirección al viento (downwind coning) es principalmente posible compensar, al menos parcialmente, las fuerzas centrífugas de las cargas de viento provocadas por el ángulo de cono, modificando el ángulo de cono dependiendo de las revoluciones. Esto es válido básicamente tanto para las máquinas eólicas generadoras de potencia con rotor a barlovento como también con rotor a sotavento.

Una forma particularmente favorable de realización con respecto al gasto de producción prevé que ambas conexiones rotantes se formen por un único gran rodamiento de rodillos con tres anillos y dos cajas o pistas. La disposición espacial del cubo de rotor, anillos de rodamiento, pala de rotor y transmisiones de ajuste puede efectuarse de muchas maneras diferentes y variar de manera sistemática de acuerdo con las leyes de la metodología de construcción.

En el contexto de la invención también se proporciona un método para operar el dispositivo de acuerdo con la invención en tal forma que ambas conexiones rotantes se engranen entre sí estableciendo un ángulo de ajuste suministrado en una forma que favorezca la distribución de lubricante en las conexiones rotantes. Esto toma en consideración la circunstancia de que en los grandes rodamientos de rodillo usados para las conexiones rotantes, durante la mayor parte de la duración de operación de la máquina eólica generadora de potencia, solo se activan uno o dos áreas de posición, por ejemplo el ángulo de pala óptimo y la posición de parqueo. Por esto el suministro de lubricante es un problema, porque una buena distribución del lubricante se garantiza ante todo mediante un método frecuente con grandes distancias de ajuste. Este problema de lubricación se resuelve en el estado de la técnica por el hecho que las palas de rotor pueden ajustarse provisionalmente a intervalos regulares en condiciones de viento que no requieren ajuste de las palas de rotor, lo cual está ligado, por supuesto, con pérdidas de rendimiento. Ahora es posible, de una manera particularmente ventajosa, que accionando en sentido contrario los dos sistemas de ajuste se muevan las cajas de los rodamientos de las conexiones rotantes una con respecto del otro, sin que también se mueva forzosamente el ajuste acimutal de la pala de rotor. De esta manera puede garantizarse un suministro óptimo de lubricante, en cuyo caso, de manera alterna, es posible ajustar temporalmente a distancias regulares o continuamente con muy baja velocidad de ajuste.

Otra posibilidad conveniente de operación consiste en que ambas conexiones rotantes se accionan, una con relación a la otra, ajustando un ángulo de ajuste proporcionado de una manera que favorece una distribución de carga acimutal, homogénea en el transcurso del tiempo. Esta manera de operar toma en consideración que los componentes de soporte estructural en la zona de transición entre la pala de rotor y el cubo de rotor, por ejemplo extenders, conexiones rotantes, pestañas de tornillos, se cargan de manera muy heterogénea en su extensión porque las cargas estocásticas resultantes del viento prevalecen en una dirección a través del cubo de rotor, mientras que en otra dirección, perpendicular a la primera predominan las cargas de peso periódicas. Similarmente como para el problema de lubricación de las conexiones rotantes, ajustando recíprocamente las conexiones rotantes se logra una homogeneización de las cargas para estos componentes, lo cual permite un diseño más económico de la estructura soporte, altamente cargada, en el área de raíz de las palas de rotor.

La invención es aplicable en todas sus formas de realización para todas las máquinas eólicas horizontales, generadoras de potencia, independientemente del número de las palas de rotor. Es tanto más económica cuanto más pequeño sea el número de las palas de rotor del rotor.

A continuación, la invención se sigue explicando haciendo referencia al dibujo, puramente a manera de ejemplo.

Se muestran:

Fig. 1 muestra una representación esquemática en la región de un cubo de motor en un corte hecho por el eje de rotor y el eje longitudinal de la pala de rotor.

Fig. 1a muestra una representación detallada de la conexión rotante en el cubo de rotor en la Fig. 1,

5 Fig. 2 muestra un diagrama para la representación de la velocidad de ajuste acimutal de una pala de rotor dependiendo del ángulo de la pala,

Fig. 3 muestra un esquema de un circuito eléctrico que sirve para controlar una velocidad de ajuste,

Fig. 4 muestra una representación en corte correspondiente a la Fig. 1 de otra forma de representación, y

Fig. 5 muestra una representación en corte de otra forma de realización.

10 En Fig. 1 puede reconocerse un cubo de rotor 1 en un eje de rotor 2, representado solo en la región de su conexión con el cubo de rotor 1 en un plano de corte hecho por el eje de rotación 3 del eje de rotor 2. El eje de rotor 2 se encuentra capaz de rotar cerca de su conexión con el cubo de rotor 1 por medio de su rodamiento principal de rotor 4 en una caja de máquina no representada la cual está afianzada capaz de girar horizontalmente en la punta de una torre en torno al eje de la torre. En el perímetro del cubo de rotor 1 del tipo carcasa están formadas en total tres aberturas de acople 5 en forma de cruz a distancias angulares acimutales iguales de 120° con respecto al eje de rotación 3; cada una de las aberturas sirve para acoplar una pala de rotor 6. En la Fig. 1 solo se representa la región cercana al cubo de una pala de rotor 6 con su eje longitudinal 7 que se extiende en el plano del dibujo.

Entre cada pala de rotor 6 y el cubo de rotor 1 se proporciona de a un dispositivo para ajuste de la pala de rotor 6 en torno a su eje longitudinal 7. Mediante este ajuste acimutal de las palas de rotor 6 se limita la carga mecánica en caso de fuerzas de viento demasiado altas haciendo rotar las palas de rotor 6 con respecto a su dirección de incidencia a una posición de bandera. Según la Fig. 1, este dispositivo tiene un componente tubular 8, también denominado "extender", que se extiende coaxialmente hacia el eje longitudinal 7. El extremo del componente tubular 8 enfrenteado al cubo de rotor 1 está rebordeado en el anillo interno 9 de un rodamiento de rodillo 10 que forma una conexión rotante, y cuyo anillo externo 11 está rebordeado en la abertura de empalme 5 del cubo de rotor 1. Esto se refleja solamente de manera esquemática en la Fig. 1, aunque en la Fig. 1a se representa más detalladamente. Allí son distintivamente reconocibles los tornillos axiales 12 y 13, con los cuales se sujeta el anillo externo 11 al área de pestaña circundante del cubo de rotor 1 o el anillo interno 9 se sujeta al área de pestaña por el lado del frente del componente tubular 8. Además, entre el anillo interno 9 y el anillo externo 11 pueden verse dispuestos los elementos de rodamiento 14, de los cuales ambos anillos son desplazables en direcciones opuestas pero son inamovibles axialmente.

30 El anillo interno 9 tiene un engranaje periférico 15 radialmente interno para engranarse con un piñón de transmisión de un motor de tracción ubicado fijo en el cubo (no se representan). De esta manera, el componente tubular 8 se ajusta acimutal en torno al eje longitudinal 7 durante la actuación del motor de tracción. En lugar de un motor de tracción puede proporcionarse de manera alterna cualquier otro tipo de producción de la pala.

35 El extremo puesto al cubo de rotor 1 del componente tubular 8 también tiene según la Fig. 1 una pestaña de acople frontal 16 para el anillo externo 17 de un rodamiento de rodillo 18, que está construido similarmente al rodamiento de rodillos 10 (Fig. 1a). En el anillo interno 19 de este rodamiento esta rebordeado el extremo de la pala de rotor 6. El anillo interno 19 también está dotado radialmente por dentro con un engranaje interno con el cual se engrana el piñón de transmisión 20 de un motor de tracción 21 sujetado en el lado interno del componente tubular 8. Por esta razón, mediante la operación del motor de tracción se ajusta acimutal la pala de rotor en torno al eje longitudinal 7 en relación con el componente tubular 8. En la Fig. 1, en el interior del componente tubular 8, se indican esquemáticamente las baterías 22 las cuales suministran la energía eléctrica de operación para el motor de tracción 21.

45 Esta estructura pone en claro que los movimientos de ajuste de ambas conexiones rotantes que tienen rodamientos de rodillo 10 y 18 se superponen y, por lo tanto, el ángulo de ajuste acimutal de la pala de rotor 6 es la superposición direccionada del ajuste acimutal del componente tubular 8 respecto del cubo de rotor 1 con el ajuste acimutal de la pala de rotor 6 respecto del componente tubular 8. Además, se hace evidente que ambos sistemas de ajuste que producen los ajustes que se superponen son completamente independientes entre sí. Siempre que deba fallar un sistema de ajuste, el ajuste puede producirse por el otro sistema de ajuste respectivo.

50 La Fig. 2 muestra la marcha de la velocidad de ajuste acimutal de la pala de rotor en dependencia del ángulo de pala de rotor en un modo de operación ventajoso de ambos sistemas de ajuste. Aquí, uno de los dos sistemas de ajuste se opera con velocidad constante de ajuste, mientras que el otro sistema de ajuste inicia con la misma velocidad de ajuste inicial a un ángulo de pala de 0 y se reduce linealmente a una velocidad de ajuste a un ángulo de rotor de 90°. A esto corresponde en la Fig. 2 la marcha de velocidades de ajuste absolutamente trapecial que se muestra por la

línea continua 23. Puesto que la reducción continua es relativamente costosa, en la práctica, principalmente para el caso de la desconexión por seguridad, la forma trapecial puede aproximarse mediante una marcha por etapas que puede producirse más sencillamente mediante interruptores de activación. Una aproximación en forma de etapas de este tipo, con cuatro etapas se representa en la Fig. 2 mediante la línea rayada 24. Si uno de los dos sistemas de ajuste falla, entonces el ajuste se hace a la velocidad máxima de ajuste del otro sistema de ajuste. Esto se muestra mediante la línea rayada 25 en la Fig. 2

En la Fig. 3 se muestra un control eléctrico posible de los motores de tracción M1 y M2 de ambos sistemas de ajuste con los cuales puede producirse la marcha en forma de pasos 24 representada en la Fig. 2. Después, en el circuito de corriente de accionamiento del motor M1 se encuentra una batería que suministra energía eléctrica en serie de accionamiento con un interruptor final 27, el cual desconecta el motor de tracción M1 al alcanzar el ángulo de pala de rotor de 90 °, y un relé interruptor 28 que cierra el circuito de corriente de accionamiento en caso de falla de red o de iniciación de la desconexión de seguridad. De esta manera, el motor de tracción M1 de uno de los sistemas de ajuste se aprovisiona de energía de operación de manera constante al cerrar el relé interruptor 28 del acumulador 26 y acciona, por lo tanto, el sistema de ajuste con velocidad constante de ajuste.

El interruptor final 27 y el relé interruptor 28 tienen respectivamente un segundo contacto interruptor accionado simultáneamente. Ambos contactos interruptores se encuentran en el circuito de control del motor de tracción M2 del otro sistema de ajuste que se conecta o desconecta de esta manera simultáneamente con el primer sistema de ajuste. Además, en este circuito de control se encuentra una conexión en serie de cuatro interruptores S0 a S3 y cuatro baterías 29, 30, 31, 32 en serie alterna. En la posición de los interruptores S0 a S3 representada en la Fig. 3 estas baterías 29 a 32 se conectan sucesivamente con la consecuencia de que el motor de tracción M2 suministra la velocidad de ajuste máxima. Dependiendo de la distancia de ajuste del sistema de ajuste accionado por el motor de tracción M1, los interruptores se conmutan en la serie S0, S1, S2 y S3 mediante levas adecuadamente instaladas en su posición de interruptor opuesta a la posición de interruptor de la Fig. 3. De esta manera las baterías 29 a 32 en cuestión se desconectan del circuito de control cerrando el circuito de control por un espárrago conductor 33 en lugar de por la batería. Cada conmutación de un interruptor S0 a S3 corresponde por lo tanto a una etapa en la Fig. 2.

La Fig. 3 permite además reconocer que el motor de tracción M1 controlado constantemente es una máquina con excitación, mientras que el motor de tracción M2 del otro sistema de ajuste, controlado por etapas por los interruptores S0 a S3, es una máquina de excitación en serie. La primera tiene un comportamiento que mantiene en gran medida constante la velocidad de ajuste en caso de cargas bajas. La última también suministra un torque inicial deliberadamente alto incluso en operación de la batería. En lugar del control mediante los interruptores S0 a S3 pueden realizarse de manera alterna conmutaciones de los devanados estáticos 34 hechos de dos polos.

La forma de realización representada en la Fig. 4 corresponde a la forma de realización representada en la Fig. 1 con la diferencia de que en la Fig. 4 falta el componente tubular 8 entre ambas conexiones rotantes 10, 18 en la Fig. 1. Por lo demás, en la Fig. 4 se usan los mismos números de referencia para los componentes coincidentes con la Fig. 1.

A diferencia de la Fig. 1, en la Fig. 4 entre el extremo orientado hacia el cubo de rotor 1 de la pala de rotor 6 o un extender que extiende la pala de rotor 6 y la abertura de acople 5 en cuestión del cubo de rotor 5 se encuentra dispuesto un rodamiento de rodillos 35 con tres anillos y dos cajas. En el anillo exterior 36 está rebordeado el extremo del lado del frente de la pala de rotor 6 o su extender, mientras que el anillo interno 37 está rebordeado en la abertura de acople 5 del cubo de rotor. El anillo medio 37 dispuesto entre el anillo externo y el interno 36 y 37 es capaz de rotar por las cajas de rodamiento a ambos lados en relación con los otros dos anillos 36, 37, pero inamovibles axialmente. Además, el anillo externo y el interno 36, 37 se desplazan uno de otro axialmente. Las superficies radialmente externas y radialmente internas, expuestas por este desplazamiento, del anillo medio 38, están dotadas con un engranaje externo o un engranaje interno. Con el engranaje interno se engrana el piñón de transmisión 39 de un motor de tracción 40 sujetado dentro de la pala de rotor 6 o de su extender, mientras que con el engranaje externo se engrana el piñón de transmisión 41 de un motor de tracción sujetado en el lado externo del cubo de rotor 1. De esta manera se realizan los dos movimientos de ajuste independientes entre sí en el rodamiento de rodillos de tres anillos 35.

La forma de realización representada en la Fig. 5 corresponde a la forma de realización de la Fig. 4 con la única diferencia que el motor fijado en el cubo dotado de un piñón de transmisión 41 está dispuesto ahora dentro del cubo de rotor 1. Este se designa en la Fig. 5 mediante los números de referencia 41' y 42'. Por lo demás se usan números de referencia idénticos para las partes coincidentes con la Fig. 4. En tal caso ha de notarse, sin embargo, que los rodamientos de rodillos de tres anillos 35 de la Fig. 4 presenta un diseño algo diferente en la Fig. 5, lo cual está indicado mediante el número de referencia 35'.

En detalle, el rodamiento de rodillos 35' tiene en realidad, al igual que el rodamiento de rodillo 35, tres anillos y dos cajas de rodamiento. Sin embargo dos anillos externos radialmente 43, 44 están montados para que estén alineados axialmente por las cajas de rodamiento de manera que puedan rotar en un anillo interno 45 y no se muevan

axialmente, en cuyo caso el anillo externo 43 está rebordeado en el aspa de rotor 6 o su extender y el otro anillo externo 44 en la abertura de acople 5 del cubo de rotor. El anillo interno 45 está provisto con un engranaje interno con el cual se engrana tanto el piñón de transmisión 42 del motor de tracción 42' fijado en la pala de rotor como también el piñón de transmisión 39 del motor de tracción 40 fijado en la pala de rotor. De esta manera también se producen de manera evidente los dos movimientos de ajuste independientes de los dos sistemas de ajuste en el único rodamiento de rodillos 35'.

Las variantes representadas son representativas para una gran cantidad de variantes que pueden inferirse de una variación sistemática, derivada según las leyes de la metodología de construcción, de la disposición espacial de los elementos implicados.

10 En todas las formas de realización previamente explicadas los dos sistemas de ajuste pueden accionarse de manera opuesta entre sí, de tal modo que el ángulo de ajuste resultante de esto sea 0; es decir, el ángulo de ajuste de la pala de rotor no se modifica. Esto puede utilizarse además para mover las dos conexiones rotantes de una manera que se produzca una buena distribución del lubricante sin producir forzosamente cambio alguno en el ángulo de ajuste de la pala de rotor. De igual manera el control del movimiento relativo entre las dos conexiones rotantes puede efectuarse de tal modo que se logre en el tiempo una distribución homogénea de las cargas por el perímetro sin que se produzca forzosamente una modificación del ángulo de ajuste de la pala de rotor.

20 En una desviación de las formas de realización representadas, en las que los ejes de rotación de los dos sistemas de ajuste son paralelos, de manera alternativa los ejes de rotación de los dos sistemas de ajuste pueden estar inclinados entre sí. Entonces, los movimientos de rotación de ambas conexiones rotantes pueden controlarse una con respecto a la otra de modo que se establezca un determinado ángulo de cono para las palas de rotor frente al plano del eje de rotor, sin que se produzca forzosamente una modificación del ángulo de ajuste de pala de rotor.

Listado de números de referencia

- 1 Cubo de rotor
- 2 Eje de rotor
- 25 3 Eje de rotación
- 4 Rodamiento principal de rotor
- 5 Aberturas de acople
- 6 Pala de rotor
- 7 Eje longitudinal
- 30 8 Componente tubular
- 9 Anillo interno
- 10 Rodamiento de rodillos
- 11 Anillo externo
- 12 Tornillos
- 35 13 Tornillos
- 14 Elementos de rodillo
- 15 Engranaje
- 16 Pestaña de acople
- 17 Anillo externo
- 40 18 Rodamiento de rodillos

- 19 Anillo interno
- 20 Piñón de activación
- 21 Motor de tracción
- 22 Baterías
- 5 23 Marcha trapecial de velocidades ajuste
- 24 Aproximación en forma de etapas
- 25 Gráfico al fallar un sistema de ajuste
- M1, M2 Motores de tracción
- 26 Batería
- 10 27 Interruptor final
- 28 Relé interruptor
- S0 a S3 Interruptores
- 29 a 32 Baterías
- 33 Espárrago conductor
- 15 34 Devanados estáticos
- 35, 35' Rodamiento de rodillo
- 36 Anillo externo
- 37 Anillo interno
- 38 Anillo medio
- 20 39 Piñón de transmisión
- 40 Motor de tracción
- 41,41' Piñón de transmisión
- 42, 42' Motor de tracción
- 43, 44 Anillos externos
- 25 45 Anillo interno

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para ajustar una pala de rotor (6), que se extiende en su eje longitudinal fuera de un cubo de rotor (1) de un rotor de una máquina eólica generadora de potencia en torno a un ángulo de ajuste acimutal respecto del eje longitudinal (7), caracterizado porque el dispositivo tiene dos sistemas de ajuste independientes entre sí, de los cuales cada uno también produce el ajuste de la pala de rotor (6) en caso de falla del otro sistema de ajuste respectivo en cuyo caso los dos sistemas de ajuste tienen de a una conexión rotante (10, 18) ajustable por una transmisión, dispuesta entre el cubo de rotor (1) y la pala de rotor (6) y las dos conexiones rotantes (10, 18) están dispuestas esencialmente concéntricas entre sí.
- 10 2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque una de las dos conexiones rotantes (10) y su transmisión está dispuesta en el cubo de rotor (1) y la otra conexión rotante (18) y su transmisión (20, 21) está dispuesta por fuera del cubo de rotor (1).
3. Dispositivo según la reivindicación 2, caracterizado porque la conexión rotante (18) dispuesta por fuera del cubo de rotor (1) y su transmisión (20, 21) está ubicada en un componente tubular (8) que se extiende axialmente entre las dos conexiones rotantes (10, 18).
- 15 4. Dispositivo según la reivindicación 3, caracterizado porque el componente tubular (8) es preferiblemente un componente aglutinado de fibra, producido preferiblemente en un proceso de arrollamiento.
5. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque una de las dos conexiones rotantes y su transmisión está dispuesta en el cubo de rotor (1) y la otra conexión rotante y su transmisión está dispuesta directamente en la pala de rotor (6).
- 20 6. Dispositivo según la reivindicación 5, caracterizado porque la transmisión (39, 40) de la conexión rotante (35) dispuesta en la pala de rotor (6) está dispuesta esencialmente dentro de la pala de rotor (6).
7. Dispositivo según la reivindicación 5, caracterizado porque la transmisión de la conexión rotante dispuesta en la pala de rotor está dispuesta esencialmente fuera de la pala de rotor.
- 25 8. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque los dos sistemas de ajuste pueden accionarse simultáneamente en caso de la desconexión de seguridad.
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque la velocidad de ajuste acimutal resultante de la operación de los dos sistemas de ajuste puede controlarse de manera variable, principalmente en dependencia del tiempo y/o en dependencia del ángulo de pala de rotor y/o en dependencia de la distancia de ajuste.
- 30 10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque la velocidad de ajuste de uno de los sistemas de ajuste se controla en dependencia de la distancia de ajuste del otro sistema de ajuste.
11. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque al menos uno, preferiblemente cada uno, de los sistemas de ajuste es un sistema eléctrico.
- 35 12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque se proporciona un dispositivo de monitoreo a través del cual, en caso de falla de uno de los dos sistemas de ajuste, puede elevarse la velocidad de ajuste del otro sistema de ajuste respectivo, por lo menos temporalmente.
13. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque la velocidad de ajuste se modifica mediante encendido o apagado por etapas de las celdas de batería (29, 30, 31, 32) que alimentan la transmisión.
- 40 14. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque la velocidad de ajuste se modifica mediante conmutación por etapas de un devanado estatórico (34) de la transmisión.
15. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque la transmisión de uno de los sistemas de ajuste tiene un motor de excitación en serie (M2) y la transmisión del otro sistema de ajuste tiene un motor de excitación shunt (M1).
- 45 16. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque la transmisión de uno de los sistemas de ajuste tiene un motor trifásico y la transmisión del otro sistema de ajuste tiene un motor de corriente continua.

17. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado porque los ejes de rotación de las dos conexiones rotantes están inclinadas una frente a la otra.
18. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 17; caracterizado porque las dos conexiones rotantes se forman mediante un único gran rodamiento de rodillo (35; 35') con tres anillos (36, 37, 38; 43, 44, 45) y dos cajas de rodamiento.
19. Método para operar un dispositivo para ajustar una pala de rotor que se extiende en su eje longitudinal afuera de un cubo de rotor de un rotor de una máquina eólica generadora de potencia, en torno a un ángulo de ajuste acimutal respecto del eje longitudinal el cual tiene dos sistemas de ajuste independientes entre sí, cada uno de los cuales tiene una conexión rotante que actúa entre la pala de rotor y el cubo de rotor, es ajustable por una transmisión, y las dos conexiones rotantes están dispuestas de manera esencialmente concéntrica entre sí, caracterizado porque las dos conexiones rotantes son accionadas, una en relación con la otra, ajustando un ángulo de ajuste previsto de una manera que favorece la distribución de lubricante en las conexiones rotantes.
20. Método para operar un dispositivo para ajustar una pala de rotor que se extiende en su eje longitudinal afuera de un cubo de rotor de un rotor de una máquina eólica generadora de potencia en torno a un ángulo de ajuste acimutal respecto de su eje longitudinal, el cual tiene dos sistemas de ajuste independientes entre sí, cada uno de los cuales tiene una conexión rotante que actúa entre la pala de rotor y el cubo de rotor y es ajustable por una transmisión, en cuyo caso las dos conexiones rotantes se disponen de manera esencialmente concéntrica entre sí, caracterizado porque ambas conexiones rotantes son accionadas, una en relación con la otra, ajustando un ángulo de ajuste previsto de una manera que, en el transcurso del tiempo, favorece la distribución acimutal uniforme de carga.
21. Método para operar un dispositivo para ajustar una pala de rotor que se extiende en su eje longitudinal afuera de un cubo de rotor de un rotor de una máquina eólica generadora de potencia en torno a un ángulo de ajuste acimutal respecto del eje longitudinal, el cual tiene dos sistemas de ajuste independientes entre sí, cada uno de los cuales tiene una conexión rotante que actúa entre la pala de rotor y el cubo de rotor y es ajustable por una transmisión, en cuyo caso las dos conexiones están dispuestas de manera esencialmente concéntricas una a la otra, en cuyo caso los ejes rotantes de las dos conexiones rotantes están inclinadas una contra la otra, caracterizado porque las dos conexiones rotantes son accionadas, una con relación a la otra, ajustando un ángulo previsto de una manera que dé lugar a una orientación espacial prevista del eje longitudinal de la pala de rotor.

Fig. 1

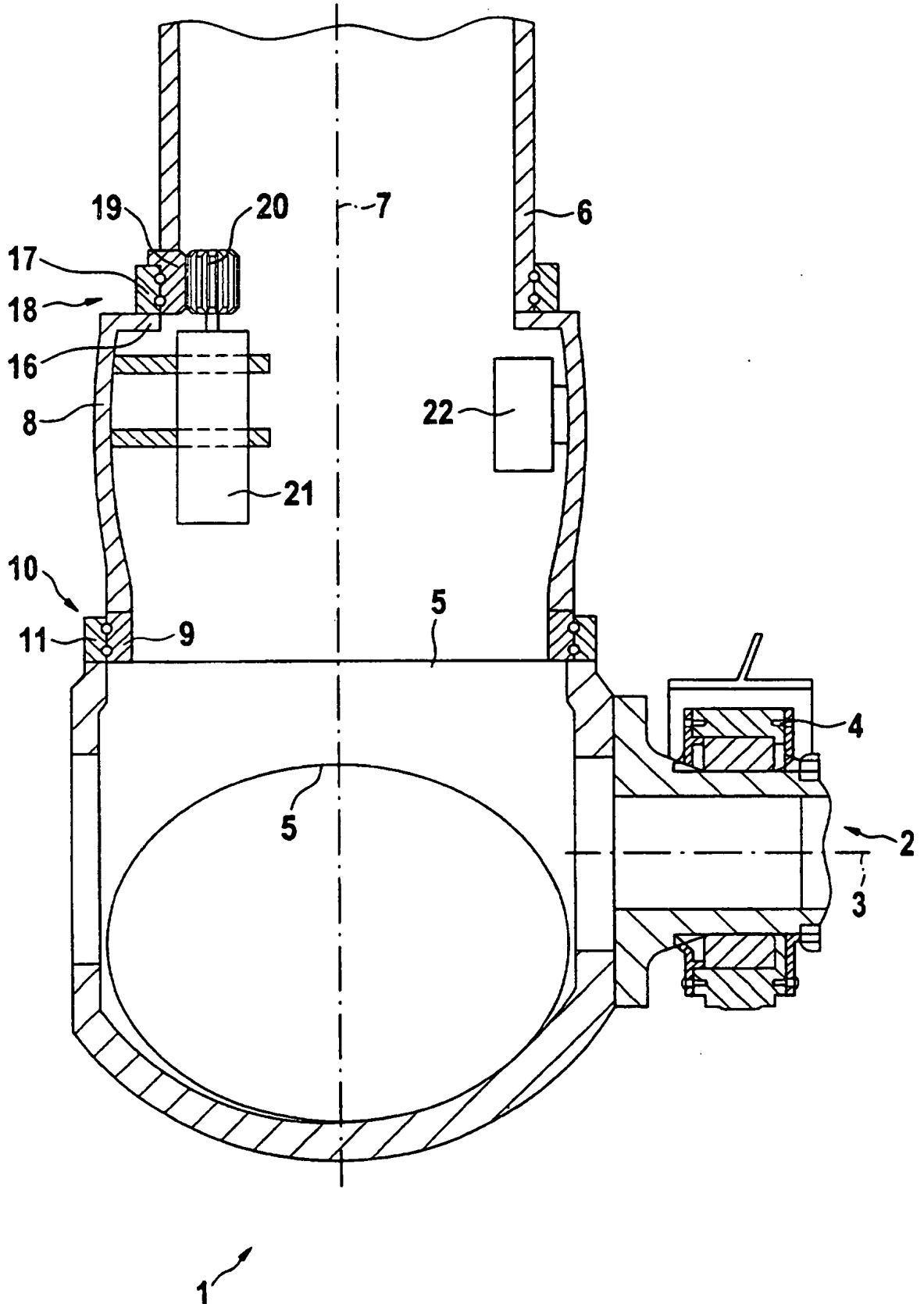


Fig. 1a

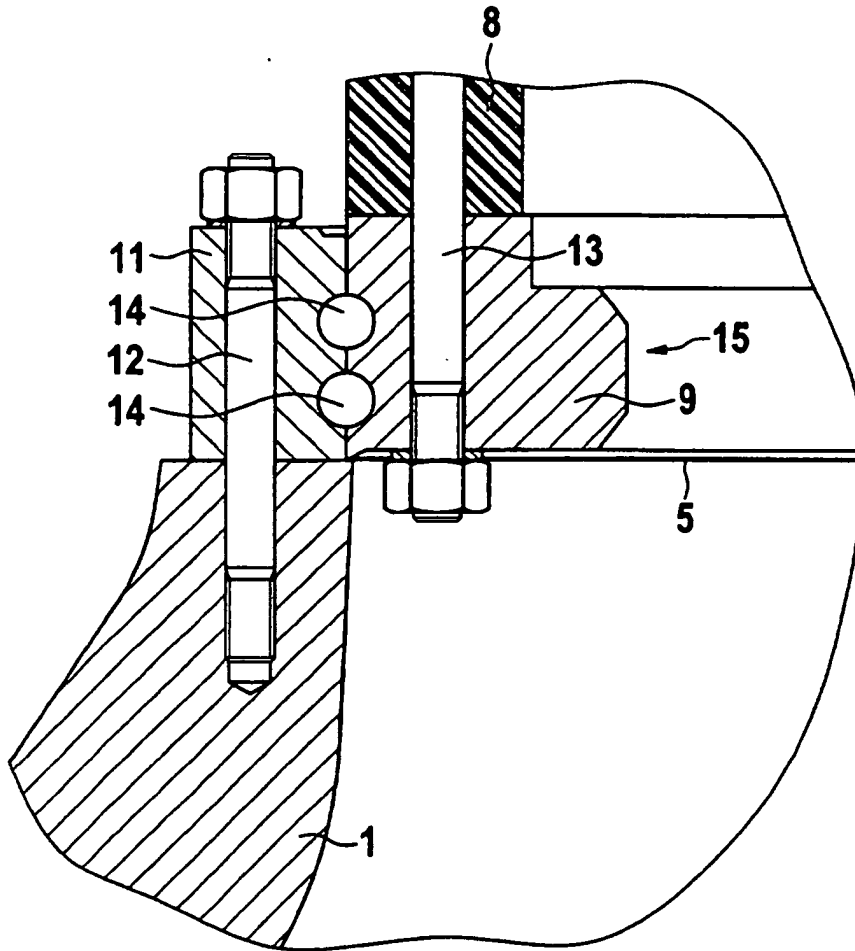


Fig. 2

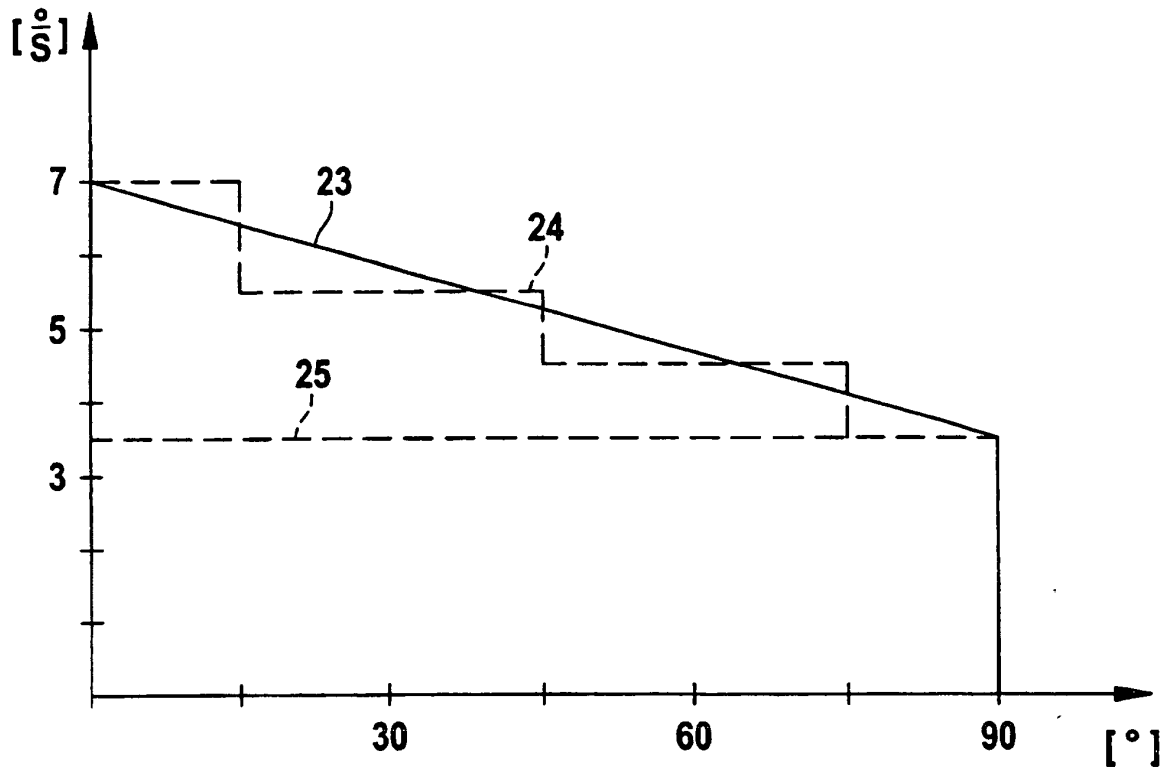


Fig. 3

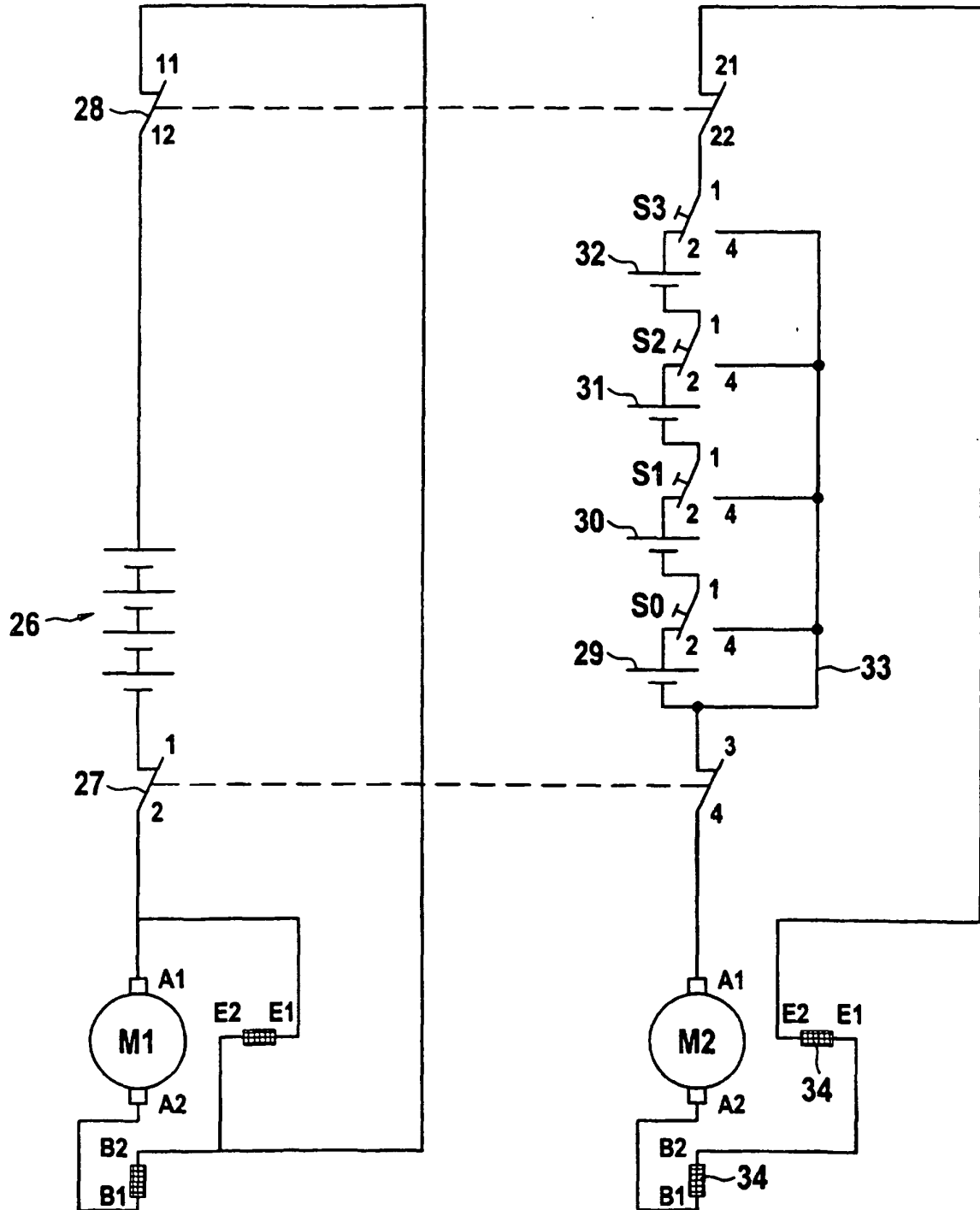


Fig. 4

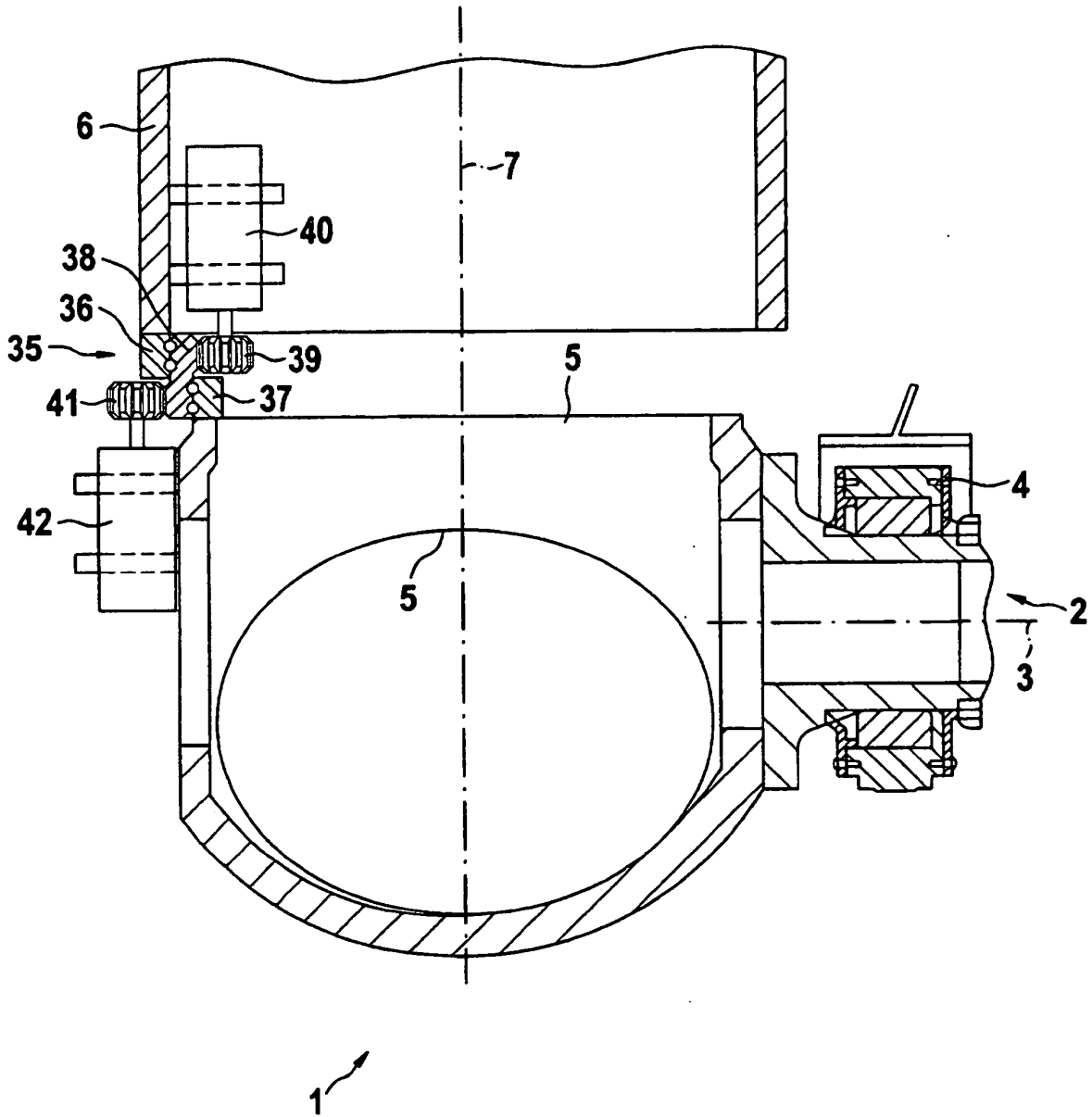


Fig. 5

