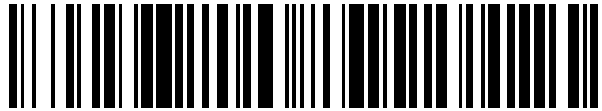


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 030**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2011 E 11001661 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.10.2015 EP 2495435**

54 Título: **Sistema y método de transmisión de paso para controlar un paso de una pala de rotor de una central de energía eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**02.03.2016**

73 Titular/es:

**AREVA WIND GMBH (50.0%)  
Am Lunedeich 156  
27572 Bremerhaven, DE y  
MOOG UNNA GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**HAGEDORN, RALF, DIPL.-ING.;  
RÖSMANN, TOBIAS, DIPL.-ING. y  
ZICKERT, BERND, DIPL.-ING.**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 562 030 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**

Sistema y método de transmisión de paso para controlar un paso de una pala de rotor de una central de energía eólica

5

**Campo de la invención**

La invención se refiere a un método para controlar un paso de una pala de rotor de una central de energía eólica. La invención se refiere además a un sistema de transmisión de paso de una central de energía eólica y a una central de energía eólica con un sistema de transmisión de paso.

10

**Antecedentes**

Las centrales eólicas modernas proporcionan el control de la potencia y la velocidad del rotor cambiando la fuerza aerodinámica que se aplica al rotor. Normalmente, esto se realiza cambiando el paso de las palas del rotor. El funcionamiento de una central eólica o aerogenerador puede dividirse en dos regímenes. En un primer régimen a menores velocidades del viento no es necesaria ninguna actividad de paso durante el funcionamiento de la central. La pala del rotor se fija o se sostiene en una posición aerodinámica óptima. En un segundo régimen a mayores velocidades del viento de normalmente más de 12 m/s o en situaciones de viento turbulento, la actividad de paso, es decir, un ajuste frecuente del ángulo de paso de las palas del rotor, es necesaria durante el funcionamiento del aerogenerador. Una transición entre los dos regímenes ocurrirá por ejemplo para vientos arreciantes.

15

20

Otro ejemplo de actividad de paso es un cierre de emergencia del aerogenerador. En tal caso, el rotor tiene que detenerse lo más rápido posible y, por consiguiente, las palas del rotor se mueven a un ángulo de paso de 90° para generar una máxima resistencia del viento y para ralentizar el rotor. Este ángulo de paso de 90° también se denomina como "posición de estabilización" o "posición para estabilizar".

25

Normalmente, se proporciona el ajuste de paso individual para cada pala del rotor en el que en la mayoría de los casos se usa un motor eléctrico ubicado en el buje del rotor para alimentar la transmisión de paso. Cuando se hace funcionar la central eólica en un modo de actividad de paso, normalmente, son necesarios un gran número de pequeños ajustes, es decir, un movimiento mediante un pequeño ángulo de paso y una pluralidad de movimientos en diferentes direcciones, es decir, ajuste de cambios de ángulo de paso positivos y negativos. La transmisión de paso ajusta muy frecuentemente el paso de la pala del rotor con un par de torsión y una velocidad del motor moderados. En las centrales eólicas modernas, como se divulga ejemplarmente en el documento DE 197 39 164 A1, se realiza un ajuste cíclico del paso de las palas del rotor para reducir los momentos de guiñada e inclinación que se aplican al rotor y a la estructura de soporte. Sin embargo, en el caso de un cierre de emergencia, es necesario un gran par de torsión de la transmisión de paso para proporcionar un rápido movimiento de paso que tiene un gran cambio de ángulo de paso total debido a que el cierre de emergencia tiene que realizarse en muy poco tiempo.

30

35

Normalmente, la transmisión de paso comprende un motor eléctrico que se monta en un engranaje adecuado, por ejemplo, un engranaje epicíclico que tiene una alta relación de engranaje. Un engranaje cónico de transmisión que se monta en el árbol conducido (de salida) del engranaje epicíclico se acopla normalmente a un engranaje anular o anillo de diente que se fija a la pala del rotor. Para fijar la pala del rotor en un ángulo de paso deseado, la transmisión de paso comprende a menudo un freno que se monta preferentemente en el eje impulsor (de alta velocidad) del engranaje epicíclico. Esto se debe a que los valores de par de torsión en el eje impulsor son significativamente menores que los valores de par de torsión en el engranaje cónico de transmisión o en el propio eje conducido y, por consiguiente, un freno menor es suficiente. Sin embargo, cada tren de transmisión mecánico tiene un contragolpe. Esto se aplica al engranaje así como a la transmisión de potencia mecánica entre el engranaje cónico de transmisión y el engranaje anular. Cuando se cambia el paso de la pala del rotor, especialmente cuando se altera la dirección del movimiento de paso, el contragolpe en el tren de transmisión mecánico conduce a máximos en el par de torsión. Incluso durante el funcionamiento de la central eólica en el primer régimen donde las palas de rotor tienen un ángulo de paso fijo y el freno está bloqueado, el contragolpe provocará máximos en la carga mecánica del tren de transmisión mecánico, es decir, máximos de par de torsión. Esto requiere un sistema de transmisión de paso y un tren de transmisión mecánico sobredimensionados o debe aceptarse una vida útil significativamente menor. Debido al contragolpe, unos pequeños cambios del ángulo de paso tienen un efecto poco favorable en la vida útil del cojinete de la pala.

40

45

50

55

El documento DE 10 2004 046260 A1 divulga un sistema y método de transmisión de paso para controlar el paso de una pala de rotor de una central eólica. La central eólica comprende un rotor que tiene un buje del rotor, en el que al menos una pala del rotor se monta en el buje del rotor. La pala del rotor puede rotarse alrededor de un eje de paso usando un sistema de transmisión de paso. El sistema de transmisión de paso comprende una primera y una segunda transmisión de paso antagónicas, en el que la primera y la segunda transmisión de paso se controlan para aplicar un primer y un segundo par de torsión contrarrestantes en la pala del rotor.

60

**Sumario**

65

Es un objeto de la invención proporcionar un método para controlar un paso de una pala del rotor de una central eólica, un sistema de transmisión de paso y una central eólica que tiene un sistema de transmisión de paso mejorado.

5 En un aspecto de la invención, se proporciona un método para controlar un paso de una pala de rotor de una central eólica. La central eólica comprende un rotor que tiene un buje del rotor en el que al menos una pala del rotor se monta en el buje del rotor. Además, la pala del rotor puede rotar alrededor de un eje de paso mediante un sistema de transmisión de paso que tiene una primera transmisión de paso y una segunda transmisión de paso. Preferentemente, la primera transmisión de paso y la segunda transmisión de paso son un motor eléctrico que se  
10 monta en un engranaje epicíclico. Además, un eje impulsor del engranaje es preferentemente el eje conducido del motor eléctrico respectivo. Un engranaje cónico de transmisión se acopla a un engranaje anular que se fija a la pala del rotor, en el que el engranaje cónico de transmisión se monta en el eje conducido del engranaje epicíclico. Por consiguiente, las transmisiones de paso se fijan preferentemente al buje del rotor mientras que el engranaje anular se fija a la pala del rotor y, por tanto, puede rotar alrededor del eje de paso junto con la pala del rotor.

15 En un aspecto de la invención, la primera transmisión de paso y la segunda transmisión de paso se controlan para aplicar un primer y un segundo par de torsión contrarrestantes a la pala del rotor. En otras palabras, la primera transmisión de paso se controla para aplicar un primer par de torsión a la pala del rotor y la segunda transmisión de paso se controla para aplicar un segundo par de torsión a la pala del rotor. El mecanismo de control de la primera y  
20 la segunda transmisión de paso se configura entonces de manera que el primer par de torsión y el segundo par de torsión son contrarrestantes.

En un aspecto de la invención, un primer par de torsión y un segundo par de torsión, que es contrarrestante con respecto al primer par de torsión, pueden aplicarse a la pala del rotor para sostener la pala del rotor en una posición de paso predeterminada.  
25

Ventajosamente, el método de acuerdo con los aspectos de la invención permite eliminar el contragolpe en el tren de transmisión y, por tanto, se mejora la precisión para establecer el ángulo de paso. Además, se reduce la aparición de movimientos de contragolpe y máximos del par de torsión relacionados en el sistema de paso.  
30

Los máximos del par de torsión que ocurren normalmente en el sistema de transmisión de paso, por ejemplo, en el engranaje epicíclico y entre el engranaje cónico de transmisión y el engranaje anular se omiten. Esto se debe a que ambas transmisiones de paso aplican un par de torsión que tiene una dirección constante que no depende de la dirección de rotación, es decir, es independiente del prefijo del ángulo de paso de la pala del rotor. La cadena de  
35 transmisión de cada transmisión de paso mantiene una pretensión y, por tanto, no ocurre ningún máximo del par de torsión en la cadena de transmisión. Este control antagónico y específico de las transmisiones de paso proporciona una manera muy conservadora y sin contragolpes de hacer funcionar la cadena de transmisión del sistema de transmisión de paso.

40 En una realización de la invención, un par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso puede incrementarse para superar un par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso, y un paso de la pala del rotor puede variar. En otras palabras, el par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso puede ser mayor que el par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso para hacer variar el paso de la pala del rotor. Si un par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión de paso se incrementa para  
45 superar el par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso, un vector de par de torsión resultante, que es la suma de vectores del primer y el segundo par de torsión, puede provocar que la pala del rotor varíe su ángulo de paso de una manera libre de contragolpes.

De acuerdo con aspectos de la invención, el par de torsión que efectúa un cambio en el ángulo de paso de la pala del rotor es la suma de vectores del par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso y el par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso.  
50

De acuerdo con una realización, un par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso se mantiene, disminuye o se cancela mientras que un par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión de paso se  
55 incrementa para superar un par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso y para hacer variar un paso de la pala del rotor. Si el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso desciende o se cancela, puede ser suficiente para mantener el par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión de paso. La primera transmisión de paso tiene que superar el par de torsión de pretensión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso para mover la pala del rotor. En otras palabras, la primera transmisión de paso funciona como un motor mientras que la segunda transmisión de paso funciona como un generador. Si el prefijo del movimiento de paso debe invertirse, la primera transmisión de paso desciende su par de torsión hasta que la suma de vectores del par de torsión de la primera transmisión de paso y el par de torsión que se aplica mediante la  
60 segunda transmisión de paso es igual a cero. Por consiguiente, el movimiento de paso de la pala del rotor se detiene. Si, posteriormente, el par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso se incrementa mientras que el par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso permanece constante, esto tiene como resultado un movimiento de paso inverso de la pala del rotor. Ahora, la segunda transmisión de paso funciona  
65

como un motor mientras que la primera transmisión de paso funciona como un generador. De acuerdo con el método antes mencionado, un ángulo de paso de una pala del rotor puede variar sin cambiar el prefijo del par de torsión en cada cadena de transmisión de una transmisión de paso respectiva. Es la suma de vectores resultante del par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión de paso y el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso lo que provoca que la pala del rotor rote sin contragolpe.

Al combinar las dos etapas del método anterior, el vector de par de torsión resultante puede incrementarse si el par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso se incrementa mientras que el par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso disminuye para cambiar una dirección de movimiento de paso. Viceversa, el vector del par de torsión aplicado (que se dirige en una dirección opuesta) puede incrementarse si el par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso se incrementa mientras que el par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso disminuye. En otro aspecto, el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso puede disminuir durante un aumento del par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso o permanecer inalterado. Lo mismo se aplica viceversa a un movimiento de paso en la dirección opuesta.

En otro aspecto de la invención, un primer par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión de paso comprende un componente de par de torsión contrario para compensar las fuerzas externas que actúan sobre la pala del rotor, y un componente contrarrestante. El componente contrarrestante del primer par de torsión tiene el mismo valor nominal que el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso.

Ventajosamente, pueden compensarse las fuerzas externas que actúan sobre la pala del rotor, tal como fuerzas aerodinámicas o fuerzas gravitacionales. El primer par de torsión comprende un componente de par de torsión contrario para compensar estas fuerzas (al menos sustancialmente). Un segundo componente puede aplicar un par de torsión contrarrestante que actúa de manera antagónica respecto al par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso. Estos pares de torsión antagónicos tienen el mismo valor nominal.

En un funcionamiento normal del aerogenerador, al menos como promedio, una operación de paso que hace inclinarse la pala hacia una posición de trabajo (es decir, la dirección del movimiento de paso se dirige a una posición de pérdida) necesita un mayor par de torsión proporcionado mediante el sistema de transmisión de paso que un movimiento de paso hacia la posición de detención (es decir, la dirección del movimiento de paso se dirige a una posición de estabilización o de 90°). En otras palabras, si el viento sopla en una dirección perpendicular al plano principal del rotor, hacia el buje del rotor, la inclinación contra la dirección del viento necesitará más par de torsión desde el sistema de transmisión de paso que la inclinación en la dirección opuesta.

De acuerdo con una realización ventajosa, el sistema de transmisión de paso puede comprender además una tercera transmisión de paso. La primera transmisión de paso y la tercera transmisión de paso pueden controlarse conjuntamente para proporcionar un par de torsión resultante que comprende un componente de par de torsión contrario que compensa las fuerzas externas que actúan sobre la pala del rotor, y un componente contrarrestante. El componente contrarrestante del par de torsión resultante tiene el mismo valor nominal que el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso.

En la práctica, un número mayor de transmisiones de paso es ventajoso para un movimiento de paso que se dirige a la posición de pérdida que para el movimiento de paso a la posición de estabilización. Ventajosamente, puede usarse el mismo tipo de motor de transmisión de paso, lo que permite hacer uso de efectos de volumen y limitar el esfuerzo de logística. De acuerdo con este aspecto de la invención, hay más par de torsión disponible para la inclinación hacia el viento.

En otro aspecto de la invención, puede cambiarse un prefijo del par de torsión aplicado mediante la primera transmisión de paso y también puede cambiarse un prefijo del par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso. El segundo par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión de paso comprende un componente de par de torsión contrario para compensar las fuerzas externas que actúan sobre la pala del rotor, y un componente contrarrestante. El componente contrarrestante del segundo par de torsión tiene el mismo valor nominal que el par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión de paso.

Ventajosamente, se cambia el lateral de los dientes del engranaje cónico de transmisión y de los dientes del engranaje anular usados. Esta operación de prefijo puede realizarse de manera periódica o caso por caso. Además, el cambio de prefijo permite compartir la carga existente igualmente entre ambas transmisiones de paso e igualar la carga térmica y compartirla entre las dos transmisiones de paso. Ya que la distribución del par de torsión de transmisión requerido no es la misma para ambas direcciones de inclinación, este modo de operación es ventajoso. La carga mecánica se distribuye a ambas, es decir, a la primera transmisión de paso y a la segunda transmisión de paso. Esto permite que la carga térmica en cada transmisión de paso se reduzca y proporcione cortos tiempos de parada o cierre en los motores de paso eléctricos. Esto reduce finalmente los requisitos y la dimensión del motor de paso. Ventajosamente, se implementa un algoritmo de control de transición especial para realizar una transición calmada entre el primer y el segundo estado.

5 En un primer estado, la primera transmisión de paso aplica un par de torsión que apunta (par de torsión considerado como un vector) en una primera dirección y la segunda transmisión de paso aplica un par de torsión que apunta en una segunda dirección, y la primera y la segunda dirección son opuestas entre sí. Por ejemplo, el primer par de torsión puede aplicarse para provocar una rotación en el sentido de las agujas del reloj mientras que el segundo par de torsión puede aplicarse para provocar una rotación en el sentido contrario a las agujas del reloj. En esta situación, la primera transmisión de paso se ubica en una posición de reloj tardía en comparación con la posición de la segunda transmisión de paso.

10 En un segundo estado, la primera transmisión de paso aplica un par de torsión que apunta en la segunda dirección y la segunda transmisión de paso aplica un par de torsión que apunta en la primera dirección, y la primera y la segunda dirección son opuestas entre sí. La primera transmisión de paso todavía se ubica en una posición de reloj tardía en comparación con la posición de la segunda transmisión de paso. En otras palabras, el primer par de torsión puede producir una rotación hacia la posición de la segunda transmisión de paso y el segundo par de torsión puede producir una rotación hacia la posición de la primera transmisión de paso. Por ejemplo, el primer par de torsión puede aplicarse para provocar una rotación en el sentido contrario a las agujas del reloj mientras que el segundo par de torsión puede aplicarse para provocar una rotación en el sentido de las agujas del reloj.

20 El periodo de tiempo entre las transiciones de estado, es decir el periodo de tiempo que los sistemas permanecen en el primer y el segundo estado, respectivamente, puede ser un periodo de tiempo fijo, por ejemplo, dependiendo de la constante térmica del motor. Sin embargo, también puede controlarse. En este caso, se proporciona un cambio de estado si una temperatura de transmisión estimada o medida u otro parámetro supera un valor crítico. Este coeficiente de utilización de control no solo ahorra recursos térmicos en el lado del motor sino también en el lado del dispositivo de potencia eléctrica (p. ej. lado del inversor). Por tanto, el ajuste térmico de cada dispositivo de potencia eléctrica (p. ej. inversor) también puede reducirse.

25 En otro aspecto de la invención, se cambia el prefijo del par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión de paso y se aplica un par de torsión a la pala del rotor mediante la primera transmisión de paso para variar el ángulo de paso de la pala del rotor hacia su posición de estabilización.

30 Ventajosamente, la posición de estabilización puede lograrse más rápido, por ejemplo, en el caso de un cierre de emergencia. La operación de emergencia hacia la posición de estabilización representa una condición de operación extrema para el sistema de transmisión de paso. Normalmente, durante esta operación, en un sistema de paso convencional, el motor de paso tiene que proporcionar varias veces su par de torsión nominal. Por tanto, el motor tiene que dimensionarse consecuentemente. Ventajosamente y de acuerdo con un aspecto de la invención, el uso de dos transmisiones de paso para una rotación de la pala del rotor en la misma dirección de rotación permite sumar los pares de torsión máximos de las dos transmisiones de paso durante la estabilización de emergencia, lo que tiene un impacto positivo al dimensionar el motor de paso.

40 De acuerdo con una realización ventajosa, se detecta un fallo en la primera y en la segunda transmisión de paso, respectivamente. Un par de torsión se aplica a la pala del rotor para variar el ángulo de paso de la pala del rotor hacia la posición de estabilización mediante la segunda y la primera transmisión de paso, respectivamente.

45 Ventajosamente, la posición de estabilización puede lograrse en caso de fallo de una de las transmisiones de paso. Para lograr esto, cada transmisión de paso se dimensiona para lograr un par de torsión máximo y temporal que sea suficiente para llevar la pala del rotor a la posición de estabilización en un tiempo adecuado.

50 De acuerdo con un aspecto ventajoso de la invención, cada una de las transmisiones de paso comprende además un freno. Al menos uno de los frenos de la primera transmisión de paso y de la segunda transmisión de paso se fija en una posición de paso predeterminada, y se cancela el par de torsión aplicado mediante la transmisión de paso respectiva.

55 Ventajosamente, de acuerdo con este aspecto de la invención, una transmisión de paso mantiene su posición de eje mecánicamente por medio de un freno de sujeción, mientras que la otra transmisión de paso se controla para generar un par de torsión contrarrestante para eliminar el contragolpe. En otras palabras, una vez que se alcanza la posición de paso predeterminada, uno de los pares de torsión generados mediante las transmisiones de paso se sustituye mediante un par de torsión de frenado. Ventajosamente, esto requiere menos energía que generar un par de torsión contrarrestante mediante la transmisión de paso.

60 Además, ambos frenos pueden activarse una vez que se logra una pretensión que elimina el contragolpe y se desea un ángulo de paso fijo. En otras palabras, la primera y la segunda transmisión de paso se controlan para establecer un ángulo de paso deseado de la pala del rotor. La pretensión mecánica se mantiene en la cadena de transmisión mecánica si se logra la posición terminal y, posteriormente, los frenos en ambas transmisiones de paso se bloquean. Si la central eólica funciona en un régimen de velocidad eólica donde no es necesaria ninguna actividad de paso, las palas del rotor pueden fijarse en un ángulo de paso predeterminado/óptimo. Sin embargo, durante la rotación del rotor existen cargas variantes en las palas del rotor. Esto puede tener como resultado un par de torsión en la cadena de potencia de la transmisión de paso que tenga un prefijo alternante. Ya que un freno del sistema de transmisión de

- paso se fija normalmente en el eje impulsor (eje rápido) de un engranaje epicíclico, el par de torsión variante está presente en toda la cadena de transmisión y pueden ocurrir máximos de par de torsión en su interior. Ventajosamente, el método de acuerdo con este aspecto de la invención proporciona una fijación de la pala del rotor con la ayuda de dos transmisiones de paso que tienen un par de torsión de pretensión dentro de toda su cadena de potencia que es contrarrestante. Ventajosamente, el par de torsión de pretensión puede mantenerse mediante los frenos montados en los ejes de transmisión de paso de las dos transmisiones de paso contrarrestantes incluso si las propias transmisiones de paso (motores de paso) se desactivan, logrando de esta manera una colocación fija sin contragolpe de las palas del rotor. Por consiguiente, los máximos de par de torsión que se deben al contragolpe en la cadena de potencia se retiran en un estado activado y en un estado desactivado de las transmisiones de paso.
- En un aspecto de la invención, cada una de las transmisiones de paso comprende además un eje conducido de salida con un engranaje cónico montado sobre el mismo, estando adaptado el engranaje cónico para acoplarse a un engranaje anular o anillo de diente que se fija a la pala del rotor. La primera transmisión de paso y la segunda transmisión de paso se controlan de manera que el primer par de torsión y el segundo par de torsión controlado de manera contrarrestante son los pares de torsión vistos por el eje conducido de salida correspondientemente.
- El par de torsión del eje conducido de salida de una transmisión de paso es diferente del par de torsión de accionamiento del motor eléctrico. Esto se debe a la cantidad de par de torsión necesaria para la aceleración o desaceleración de la inercia del engranaje epicíclico. Por este motivo, es ventajoso controlar el par de torsión del eje conducido o de salida de las transmisiones de paso. Para determinadas situaciones de aceleración o desaceleración del paso de la pala del rotor, el par de torsión de accionamiento puede cambiar de signo mientras que el par de torsión del eje se controla con un signo constante para mantener la pretensión de la caja de engranajes tal como se ha descrito anteriormente.
- De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el par de torsión de accionamiento requerido para la transmisión de paso se calcula incluyendo el par de torsión del eje requerido y un componente adicional relacionado con la aceleración de paso medida o estimada de la pala del rotor.
- En otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema de transmisión de paso para una central eólica que tiene una estructura de soporte que lleva un rotor que tiene un buje del rotor. Al menos una pala del rotor se monta en el buje del rotor y puede rotar además alrededor de un eje de paso mediante una primera y una segunda transmisión de paso antagónicas. El sistema de transmisión de paso comprende además una unidad de control que se configura para controlar la primera transmisión de paso y la segunda transmisión de paso para aplicar un primer y un segundo par de torsión contrarrestantes a la pala del rotor.
- Las mismas ventajas o similares que ya se han mencionado anteriormente con respecto al método de acuerdo con los aspectos de la invención también se aplican al sistema de transmisión de paso de acuerdo con aspectos de la invención.
- En una realización ventajosa de la invención, cada una de las transmisiones de paso del sistema de transmisión de paso comprende además un eje conducido de salida con un engranaje cónico montado sobre el mismo. El engranaje cónico se adapta para acoplarse a un engranaje anular o anillo de diente que se fija a la pala del rotor. La primera y la segunda transmisión de paso se configuran para aplicar un primer y un segundo par de torsión contrarrestantes al correspondiente eje conducido de salida.
- De acuerdo con una realización de la invención, un par de torsión máximo de la primera transmisión de paso es mayor que un par de torsión máximo de la segunda transmisión de paso. En otras palabras, la primera transmisión de paso (p. ej., el primer motor de transmisión de paso) se configura para proporcionar un par de torsión máximo mientras que la segunda transmisión de paso (p. ej., el segundo motor de transmisión de paso) se configura para proporcionar un segundo par de torsión máximo. El primer par de torsión debería ser mayor que el segundo par de torsión. El par de torsión necesario para un movimiento de paso desde la posición de estabilización a la posición de pérdida es normalmente mayor que el par de torsión necesario para un movimiento en la dirección opuesta, es decir, un movimiento de paso desde la posición de pérdida a la posición de estabilización. Ventajosamente, la transmisión de paso que se usa para el movimiento de paso que necesita el par de torsión mayor es una transmisión de paso mayor que se configura para proporcionar un mayor par de torsión máximo.
- En otro aspecto de la invención, cada transmisión de paso comprende además un dispositivo de potencia eléctrica. El dispositivo de potencia eléctrica se usa para accionar la transmisión de paso. Los dispositivos de potencia eléctrica se acoplan eléctricamente entre sí y cada uno de los dispositivos de potencia eléctrica se adapta para recibir y transmitir potencia eléctrica respectivamente desde y hacia el otro dispositivo de potencia eléctrica. El dispositivo de potencia eléctrica puede suministrar potencia eléctrica (energía) a la transmisión de paso, pero también puede recibir potencia eléctrica o energía desde la transmisión de paso si la transmisión de paso genera energía.
- El dispositivo de potencia eléctrica puede ser un inversor. Un inversor puede ser un dispositivo eléctrico que convierte corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). La CA convertida puede estar en cualquier tensión y

frecuencia requeridas con el uso de transformadores apropiados, conmutación y circuitos de control. El inversor puede suministrar entonces potencia eléctrica o energía a la transmisión de paso, pero también puede recibir potencia eléctrica o energía desde la transmisión de paso si la transmisión de paso genera energía.

5 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, cuando se controla un ángulo de paso de la pala de un rotor, una transmisión de paso puede funcionar como un motor mientras que la segunda transmisión de paso puede funcionar como un generador. Ventajosamente, el enlace eléctrico permite que la energía producida mediante la transmisión de paso de generación se recicle en (al menos parcialmente se use en) la transmisión de paso impulsada. Así se mejora la eficacia global del sistema de paso de acuerdo con este aspecto de la invención.

10 De acuerdo con otro aspecto de la invención, la implementación del algoritmo de control antagonico antes mencionado requiere la sincronización entre la primera y la segunda transmisión de paso. Ventajosamente, esto puede lograrse estableciendo un enlace de comunicación directa entre las dos transmisiones de paso.

15 Normalmente, el par de torsión de las transmisiones de paso se controla mediante la cantidad de corriente que fluye a través de los motores de paso. Este control de corriente se realiza generalmente mediante un controlador de alta frecuencia. Ventajosamente, un enlace de comunicación directa permite tener una interacción directa entre las transmisiones de paso durante el funcionamiento de la central eólica. En un aspecto adicional de la invención, cada transmisión de paso comprende un controlador de corriente de alta frecuencia para controlar el par de torsión. Los controladores se conectan directamente entre sí mediante un enlace de alta frecuencia con un ancho de banda amplio, lo que minimiza los rizados de par de torsión/corriente de alta frecuencia y optimiza la sincronización de las transmisiones de paso. De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, uno de los controladores es el maestro, y el otro es el controlador esclavo.

25 La invención proporciona además una central eólica con un sistema de transmisión de paso de acuerdo con los aspectos de la invención. La central eólica con el sistema de transmisión de paso se configura para desempeñarse de acuerdo con los aspectos de la invención.

30 Las mismas ventajas o similares ya mencionadas para el método de acuerdo con la invención se aplican a la central eólica de acuerdo con la invención.

#### Breve descripción de los dibujos

35 Los aspectos adicionales de la invención surgirán a partir de la siguiente descripción de una realización ejemplar de la invención en referencia a los dibujos adjuntos, en los que

La Figura 1 es una central eólica simplificada de acuerdo con una realización de la invención,

40 La Figura 2 es una vista detallada y simplificada de esta central eólica,

Las Figuras 3 a 6 son vistas adicionales, detalladas y simplificadas del sistema de transmisión de paso de la central eólica, de acuerdo con realizaciones de la invención,

45 La Figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra el control de las transmisiones de paso y

La Figura 8 es un diagrama esquemático que ilustra el control de la transmisión de paso para una central eólica que tiene tres palas de acuerdo con realizaciones adicionales de la invención.

#### Descripción detallada de una realización ejemplar

50 La FIG. 1 es una vista simplificada de una central eólica 2 que tiene una estructura 4 de soporte que lleva un generador 6 que tiene un rotor con un buje 8 del rotor que lleva palas 10 del rotor que pueden rotar alrededor de un eje de paso PA mediante un ángulo de paso  $\alpha_P$ .

55 La FIG. 2 es una vista simplificada y más detallada del buje 8 del rotor que rota alrededor de un eje del rotor RA durante el funcionamiento de la central eólica 2. El buje 8 del rotor lleva una pala 10 del rotor que puede rotar alrededor de un eje de paso PA mediante un ángulo de paso  $\alpha_P$ . Un engranaje anular 12 se fija a la pala 10 del rotor. Una primera y una segunda transmisión PD1 y PD2 de paso se fijan al buje 8 del rotor. Cada transmisión PD1, PD2 de paso comprende un motor eléctrico 13 que tiene un eje conducido que se monta en un eje impulsor (eje rápido) de un engranaje epicíclico 14. El eje conducido del engranaje epicíclico 14 se monta en un engranaje cónico 16 de transmisión que se acopla al engranaje anular 12. La primera transmisión PD1 de paso aplica un primer par de torsión al engranaje anular 12 haciendo rotar el engranaje cónico 16 de transmisión mediante un ángulo  $\alpha_1$ . La segunda transmisión PD2 de paso aplica un segundo par de torsión al engranaje anular 12 haciendo rotar el engranaje cónico 16 de transmisión mediante un ángulo  $\alpha_2$ .

65 Para simplificar el entendimiento, en el contexto de esta memoria descriptiva, los pares de torsión se indican

mediante una dirección de rotación en lugar de mediante los vectores de par de torsión correspondientes. En este sentido, la dirección de rotación corresponde a un movimiento libre de las transmisiones de paso respectivas en respuesta al par de torsión correspondiente. Los vectores de par de torsión correspondientes pueden derivarse de la dirección de rotación con la ayuda de la conocida regla de la mano derecha. Por consiguiente, el par de torsión que se aplica mediante la primera transmisión PD1 de paso se indica mediante M1, que se dirige en la misma dirección que el ángulo de rotación  $\alpha_1$  del engranaje cónico 16 de transmisión. De manera similar, el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión PD2 de paso se indica mediante M2, que se dirige en la misma dirección que el ángulo de rotación  $\alpha_2$  del engranaje cónico 16 de transmisión que se acopla a la segunda transmisión PD2 de paso.

El par de torsión de la pala (indicado mediante la dirección de rotación MB) se debe a las fuerzas aerodinámicas y gravitacionales en la pala 10 del rotor y se genera durante el funcionamiento de la central eólica 2. Durante el funcionamiento de la central eólica 2 en un régimen de viento donde no es necesaria ninguna actividad de paso, las palas 10 del rotor necesitan establecerse en un ángulo de paso óptimo. Esto se denomina normalmente como  $\alpha_P = 0$ . La pala 10 del rotor debe fijarse o sostenerse en esta posición óptima mientras que el sistema de transmisión de paso debe absorber el par de torsión de la pala.

La FIG. 3 es una vista detallada y simplificada del sistema de transmisión de paso de la FIG. 2. Un primer engranaje cónico DB1 de transmisión y un segundo engranaje cónico DB2 de transmisión se acoplan al anillo anular 12. Los engranajes cónicos DB1, DB2 se montan en un eje conducido 18, 19 respectivo del engranaje epicíclico 14 de la primera y la segunda transmisión PD1, PD2 de paso respectivamente. El engranaje anular 12 se fija a la pala 10 del rotor y se soporta mediante un cojinete 20 de paso que se ubica entre una pieza 22 no rotativa fijada al buje 8 del rotor y el anillo anular 12 que se fija a la pala del rotor.

La FIG. 4 muestra una vista adicional y simplificada del sistema de transmisión de paso. El primer engranaje cónico DB1 de transmisión aplica un par de torsión de eje de salida que se indica mediante una dirección de rotación MB +  $\Delta M$ . MB representa el par de torsión de la pala que tiene que compensarse y es debido a las fuerzas gravitacionales y aerodinámicas en la pala del rotor, también denominado como componente de par de torsión contrario.  $\Delta M$  indica un par de torsión que define una pretensión entre el primer engranaje cónico DB1 de transmisión y el segundo engranaje cónico DB2 de transmisión, también denominado como componente de par de torsión contrarrestante. El segundo engranaje cónico DB2 de transmisión aplica un par de torsión de eje de salida para compensar esta pretensión. En otras palabras, la segunda transmisión PD2 de paso aplica un par de torsión a la pala 10 del rotor, teniendo el par de torsión aplicado el mismo valor nominal que el componente de par de torsión contrarrestante  $\Delta M$ . La primera transmisión PD1 de paso, es decir, el primer engranaje cónico DB1 de transmisión, aplica un par de torsión al engranaje anular 12 que contrarresta el par de torsión que se aplica al engranaje anular 12 mediante la segunda transmisión PD2 de paso. El primer engranaje cónico DB1 de transmisión aplica un par de torsión que comprende el componente de par de torsión contrarrestante  $\Delta M$  (que se dirige, sin embargo, en una dirección opuesta en comparación con el par de torsión que se aplica mediante la segunda transmisión PD2 de paso) más el componente de par de torsión contrario MB para compensar el par de torsión de la pala 10.

Como consecuencia, la pala 10 del rotor se fija en su posición óptima, por ejemplo, en  $\alpha_P = 0$  y la pala 10 no tiene huelgo ya que no existe contragolpe ni en el tren de transmisión de la primera transmisión PD1 de paso ni en el tren de transmisión de la segunda transmisión PD2 de paso.

Aunque de acuerdo con la FIG. 4, la primera transmisión PD1 de paso tiene que adoptar el par de torsión de la pala indicado mediante la dirección de rotación MB, de acuerdo con la FIG. 5, la segunda transmisión PD2 de paso se ha ocupado de esta tarea. Los engranajes cónicos DB1 y DB2 de transmisión de la primera y la segunda transmisión PD1, PD2 de paso aplican un par de torsión que cambia de prefijo en comparación con la situación de la FIG. 4. De manera ejemplar, la situación en la FIG. 4 puede denominarse como un primer estado mientras que la situación en la FIG. 5 puede denominarse como un segundo estado.

En la FIG. 5, la primera transmisión DB1 de paso aplica un par de torsión para aplicar la pretensión o componente de par de torsión contrarrestante  $\Delta M$  en la cadena de transmisión mecánica, la segunda transmisión DB2 de paso aplica un par de torsión que compensa el par de torsión de la pala (indicado con MB) más la pretensión (indicado mediante  $\Delta M$ ).

Cuando se alterna entre el primer estado mostrado en la FIG. 4 y el segundo estado mostrado en la FIG. 5, no solo la carga térmica se distribuye entre la primera y la segunda transmisión PD1, PD2 de paso sino que también está presente un corto periodo de tiempo donde no se aplica par de torsión ni por parte de la primera transmisión PD1 de paso ni por parte de la segunda transmisión PD2 de paso.

Para un cierre de emergencia de la central eólica 2, el paso de las palas 10 del rotor tiene que establecerse en un ángulo de aproximadamente 90 grados para desacelerar el rotor 8. Esta posición de las palas 10 del rotor también se denomina como posición de estabilización. La operación de transmisión de paso durante este cierre de emergencia se ilustra en la FIG. 6. Para tal cierre de emergencia, tiene que realizarse un gran ángulo de paso dentro de un corto periodo de tiempo. Para este fin, las primeras y segundas transmisiones PD1, PD2 de paso se



establecen para aplicar un gran par de torsión que se dirige en la misma dirección y tiene como resultado un movimiento uniforme de las dos transmisiones de paso. Si el par de torsión necesario es  $M$ , ambas transmisiones de paso aplican la mitad del par de torsión necesario cada una, es decir, cada transmisión de paso aplica  $M/2$  al engranaje anular 12. En la FIG. 6, los pares de torsión aplicados se indican mediante direcciones respectivas de rotación  $M/2$  del engranaje cónico DB1 de transmisión de la primera transmisión PD1 de paso y el engranaje cónico DB2 de transmisión de la segunda transmisión PD2 de paso. El par de torsión aplicado tiene como resultado una aceleración  $A$  del engranaje anular 12 y de la pala 10 del rotor respectivamente.

La FIG. 7 ilustra esquemáticamente el control de la primera y la segunda transmisión PD1 y PD2 de paso. Las transmisiones de paso alimentan los engranajes cónicos DB1, DB2 de transmisión respectivos que se acoplan al engranaje anular 12 de la pala 10 del rotor. La rotación de la pala 10 del rotor se detecta mediante un detector 20 adecuado. El valor de medición  $N\_IST$  se acopla a una unidad 22 de control del sistema de paso. Un valor determinado  $N\_SOLL$  de la posición o velocidad de la pala 10 del rotor se acopla además a la unidad 22 de control del sistema de transmisión de paso. Un valor resultante del par de torsión de suma  $M\_SUM\_SOLL$ , que tiene que aplicarse a la pala 10 del rotor, se acopla al excitador 24 que a su vez calcula un valor determinado y respectivo de un par de torsión de transmisión para la transmisión PD1 de paso ( $M\_1\_SOLL$ ) y un valor deseado  $M\_2\_SOLL$  para la segunda transmisión PD2 de paso.

El cálculo de  $M\_1\_SOLL$  y  $M\_2\_SOLL$  incluye una aceleración de pala medida  $A\_IST$  o un valor estimado de la misma. Como alternativa, pueden aplicarse las aceleraciones del motor  $A1\_IST$  y  $A2\_IST$ .

Un control de bucle cerrado para el par de torsión actual se establece para la primera transmisión PD1 de paso y la segunda transmisión PD2 de paso mediante realimentación de los valores  $M\_1\_IST$  y  $M\_2\_IST$ . Por consiguiente, se establece un control de bucle cerrado para ajustar el ángulo de paso  $\alpha P$  y/o la velocidad de paso de la pala 10 del rotor mediante la compensación de los valores  $N\_IST$  al valor deseado  $N\_SOLL$ .

La FIG. 8 es una visión de conjunto esquemática de una central eólica 2 que tiene tres palas, principalmente PALA 1, PALA 2 y PALA 3. Cada pala se acciona mediante una primera y una segunda transmisión de paso llamadas MOTOR 1 y MOTOR 2. Cada una de las transmisiones de paso se monta en una caja de engranajes adecuada (denominada como tal) p. ej., un engranaje epicíclico, en el que cada caja de engranajes acciona un engranaje cónico DB1, DB2 de transmisión. Un sensor 20 adecuado se aplica a cada una de las palas para detectar una posición y/o una aceleración de la pala del rotor respectiva. Un valor medido para la posición de una pala del rotor se acopla a la unidad de control de paso (no se muestra) como se indica mediante la flecha llamada REALIMENTACIÓN DE POSICIÓN DE LA PALA. Para un control antagónico sincronizado de las transmisiones de paso y del par de torsión que se aplica mediante las transmisiones de paso a las palas respectivas, es ventajoso un enlace directo entre los inversores INVERSOR 1 e INVERSOR 2 que accionan las transmisiones de paso. Un inversor es un dispositivo de potencia eléctrica que convierte corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). La CA convertida puede estar en cualquier tensión y frecuencia requerida con el uso de transformadores apropiados, conmutación y circuitos de control. El inversor se usa para accionar la transmisión de paso. Para implementar una sincronización entre las transmisiones de paso que comprenden los motores eléctricos MOTOR 1 y MOTOR 2, se proporciona una rápida interacción mediante un enlace de comunicación directa de banda ancha, indicado mediante BUS DE COMUNICACIÓN DIRECTA entre los inversores respectivos INVERSOR 1 e INVERSOR 2 para los motores eléctricos MOTOR 1 Y MOTOR 2. Además, se proporciona un enlace de CC llamado ENLACE CC entre los inversores. El acoplamiento de los inversores de dos transmisiones de paso contrarrestantes en el mismo enlace de CC es ventajoso por que la energía creada mediante la transmisión que actúa en el modo generador puede usarse directamente para la transmisión contrarrestante que opera en modo motor. En el caso del control de paso cíclico, un acoplamiento de todos los inversores en el mismo enlace de CC también es ventajoso para compartir la energía de aceleración o desaceleración entre las transmisiones de paso respectivas. Cada inversor se acopla además por medio de un Bus de Comunicación Principal (denominado como tal) a una unidad de control de paso PLC DE PASO y además al control principal de la turbina (también denominado como tal).

En caso de que falle una de las transmisiones PD1, PD2 de paso que accionan la misma pala 10 del rotor, la operación de paso puede continuar. Esto se realiza si una reducción del rendimiento de paso es aceptable, o si cada transmisión de paso se dimensionó para ese caso. Las transmisiones PD1, PD2 de paso pueden entonces configurarse de manera que ya no se habilite el control antagónico. Durante un periodo limitado de tiempo, por ejemplo, hasta el siguiente intervalo de mantenimiento, puede proporcionarse el funcionamiento de la central eólica 2 sin un control antagónico de las transmisiones PD1, PD2 de paso. Cada transmisión de paso puede diseñarse de manera que en caso de fallo de una de las dos transmisiones de paso, el equivalente antagónico todavía pueda proporcionar el par de torsión requerido para llevar las palas 10 de la posición de estabilización a una posición de pérdida. El funcionamiento de la central eólica puede continuar hasta el siguiente intervalo de mantenimiento. En este modo de funcionamiento, también puede ser aceptable una velocidad máxima reducida para un movimiento de paso, por ejemplo, 3°/s en lugar de 5°/s para un cierre de emergencia final.

En otra realización de la invención (no se muestra), una primera transmisión PD1 de paso se dimensiona mayor que una segunda transmisión PD2 de paso, lo que significa que un par de torsión máximo de la primera transmisión PD1 de paso es mayor que un par de torsión máximo de la segunda transmisión PD2 de paso. La primera transmisión

PD1 de paso puede usarse para operaciones de paso en una dirección de la posición de pérdida de las palas 10 del rotor mientras que la segunda transmisión PD2 de paso se usa para operaciones de paso en una dirección de la posición de estabilización. Sin embargo, puede mantenerse el modo de funcionamiento antagónico de las dos transmisiones PD1, PD2 de paso para eliminar el contragolpe.

5 En una realización alternativa (tampoco se muestra), se instalan tres transmisiones de paso. De una manera análoga a la realización anterior, dos de las transmisiones se usan para cambiar el ángulo de paso  $\alpha_P$  en una dirección de pérdida y la tercera transmisión de paso se usa para un movimiento de paso en una dirección hacia la posición de estabilización. La tercera transmisión puede controlarse de manera antagónica a la primera y la segunda  
10 transmisión de paso, para proporcionar un control sin contragolpe del movimiento de paso. Ventajosamente, las tres transmisiones de paso son idénticas. Esto permite hacer uso de efectos de volumen y facilita la logística y las revisiones.

15 Ventajosamente, las dos realizaciones anteriores proporcionan más par de torsión disponible para un movimiento de paso que se dirige a la posición de pérdida que para un movimiento de paso en la dirección opuesta, es decir, la posición de estabilización. Esto tiene un impacto positivo al dimensionar las transmisiones de paso, con respecto a la capacidad de carga térmica así como con respecto al par de torsión y a la potencia. Además, de acuerdo con una realización adicional, dependiendo de la disposición de las transmisiones de paso, puede lograrse una redundancia  
20 completa para la primera y la segunda transmisión PD1 y PD2 de paso, por ejemplo, usando más de tres transmisiones de paso.

Aunque la invención se ha descrito anteriormente en referencia a realizaciones específicas, esta no se limita a estas realizaciones y sin duda alguna a los expertos en la materia se les ocurrirán alternativas adicionales que entren  
25 dentro del alcance de la invención tal como se reivindica.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar un ángulo de paso ( $\alpha_P$ ) de la pala (10) de un rotor de una central de energía eólica (2) que comprende un rotor que tiene un buje (8) del rotor, en el que al menos una pala (10) del rotor está montada en el buje (8) del rotor y es además rotatoria alrededor de un eje de paso (PA) mediante un sistema de transmisión de paso que tiene una primera y una segunda transmisión (PD1, PD2) de paso antagónicas, comprendiendo el método la etapa de controlar la primera y la segunda transmisión (PD1, PD2) de paso para aplicar un primer y un segundo par de torsión (M1, M2) contrarrestantes a la pala (10) del rotor, **caracterizado por que** la primera transmisión (PD1) de paso está configurada para proporcionar un primer par de torsión máximo y la segunda transmisión (PD2) de paso está configurada para proporcionar un segundo par de torsión máximo, en el que el par de torsión máximo de la primera transmisión (PD1) de paso es mayor que el par de torsión máximo de la segunda transmisión (PD2).
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se aplican un primer y un segundo par de torsión (M1, M2) contrarrestantes a la pala (10) del rotor para sostener la pala (10) del rotor en una posición de paso predeterminada.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la etapa de: incrementar un par de torsión (M1) aplicado a la primera transmisión (PD1) de paso para superar un par de torsión (M2) aplicado mediante la segunda transmisión (PD2) de paso y para variar un ángulo de paso ( $\alpha_P$ ) de la pala (10) del rotor.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que un par de torsión aplicado mediante la segunda transmisión (PD2) de paso se mantiene, disminuye o se cancela.
5. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que un primer par de torsión (M1) que se aplica mediante la primera transmisión (PD1) de paso comprende un componente de par de torsión contrario (MB) para compensar las fuerzas externas que actúan sobre la pala (10) del rotor, y un componente contrarrestante ( $\Delta M$ ), en el que el componente contrarrestante ( $\Delta M$ ) del primer par de torsión (M1) tiene el mismo valor nominal que el par de torsión (M2) aplicado mediante la segunda transmisión (PD2) de paso.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende además la etapa de: cambiar un prefijo del par de torsión (M1, M2) que se aplica mediante la primera transmisión (PD1) de paso y la segunda transmisión (PD2) de paso, en el que un segundo par de torsión (M2) que se aplica mediante la segunda transmisión (PD2) de paso comprende un componente de par de torsión contrario (MB) para compensar las fuerzas externas que actúan sobre la pala (10) del rotor, y un componente contrarrestante ( $\Delta M$ ), y en el que el componente contrarrestante ( $\Delta M$ ) del segundo par de torsión (M2) tiene el mismo valor nominal que el par de torsión (M1) que se aplica mediante la primera transmisión (PD1) de paso.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que el sistema de transmisión de paso comprende además una tercera transmisión de paso y el método comprende además la etapa de: controlar conjuntamente la primera y la tercera transmisión de manera que su par de torsión resultante comprende un componente de par de torsión contrario (MB) que compensa las fuerzas externas que actúan sobre la pala (10) del rotor, y un componente contrarrestante ( $\Delta M$ ), en el que el componente contrarrestante ( $\Delta M$ ) del par de torsión resultante tiene el mismo valor nominal que el par de torsión (M2) que se aplica mediante la segunda transmisión (PD2) de paso.
8. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además las etapas de:
- cambiar el prefijo del par de torsión (M2) aplicado mediante la segunda transmisión (PD2) de paso y
  - aplicar un par de torsión a la pala (10) del rotor mediante la primera transmisión (PD1) de paso para variar el ángulo del paso ( $\alpha_P$ ) de la pala (10) del rotor hacia su posición de estabilización.
9. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además las etapas de:
- detectar un fallo en la primera y en la segunda transmisión (PD1, PD2) de paso, respectivamente; y
  - aplicar un par de torsión a la pala (10) del rotor para variar el ángulo de paso ( $\alpha_P$ ) de la pala (10) del rotor hacia su posición de estabilización mediante la segunda y la primera transmisión (PD1, PD2) de paso, respectivamente.
10. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada una de las transmisiones (PD1, PD2) de paso comprende además un freno y el método comprende además la etapa de: fijar al menos uno de los frenos de la primera y la segunda transmisión (PD1, PD2) de paso en una posición de paso predeterminada, y cancelar el par de torsión (M1, M2) aplicado mediante la transmisión (PD1, PD2) de paso respectiva.
11. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada una de las transmisiones (PD1, PD2) de paso comprende además un eje conducido (18, 19) de salida con un engranaje cónico (DB1, DB2) montado sobre el mismo, adaptándose el engranaje cónico (DB1, DB2) para acoplarse a un engranaje anular (12) o anillo dentado que se fija a la pala (10) del rotor, comprendiendo el método además la etapa de: controlar la primera y la segunda transmisión (PD1, PD2) de paso, de manera que el primer y el segundo par de torsión (M1, M2)

controlados de manera contrarrestante son los pares de torsión vistos por los correspondientes ejes conducidos (18, 19) de salida.

5 12. Un sistema de transmisión de paso para una central eólica (2) que tiene una estructura (4) de soporte que lleva un rotor que tiene un buje (8) del rotor, en el que al menos una pala (10) del rotor se monta en el buje (8) del rotor y puede rotar además alrededor de un eje de paso (PA) mediante una primera y una segunda transmisión (PD1, PD2) de paso antagónicas, comprendiendo además el sistema de transmisión de paso: una unidad (22) de control que se configura para controlar la primera transmisión (PD1) de paso y la segunda transmisión (PD2) de paso para aplicar un primer y un segundo par de torsión (M1, M2) contrarrestantes a la pala (10) del rotor, **caracterizado por que** un par de torsión máximo de la primera transmisión (PD1) de paso es mayor que un par de torsión máximo de la segunda transmisión (PD2) de paso.

15 13. El sistema de transmisión de paso de acuerdo con la reivindicación 12, en el que cada una de las transmisiones (PD1, PD2) de paso comprende además un eje conducido (18, 19) de salida con un engranaje cónico (16) montado sobre el mismo, adaptándose el engranaje cónico (16) para acoplarse a un engranaje anular (12) o anillo dentado que se fija a la pala (10) del rotor, y en el que la primera y la segunda transmisión (PD1, PD2) de paso se configuran para aplicar un primer y un segundo par de torsión (M1, M2) contrarrestantes al correspondiente eje conducido (18, 19) de salida.

20 14. Un sistema de transmisión de paso de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en el que cada transmisión (PD1, PD2) de paso comprende además un dispositivo de potencia eléctrica, estando el sistema **caracterizado por que** los dispositivos de potencia eléctrica se acoplan eléctricamente entre sí y cada uno de los dispositivos de potencia eléctrica se adapta para recibir y transmitir potencia eléctrica, respectivamente, desde y hacia el otro dispositivo de potencia eléctrica.

25 15. Un sistema de transmisión de paso de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 14, en el que se establece un enlace de comunicación directa entre las dos transmisiones (PD1, PD2) de paso.

30 16. Una central de energía eólica (2) que comprende un sistema de transmisión de paso de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 15.

Fig. 1

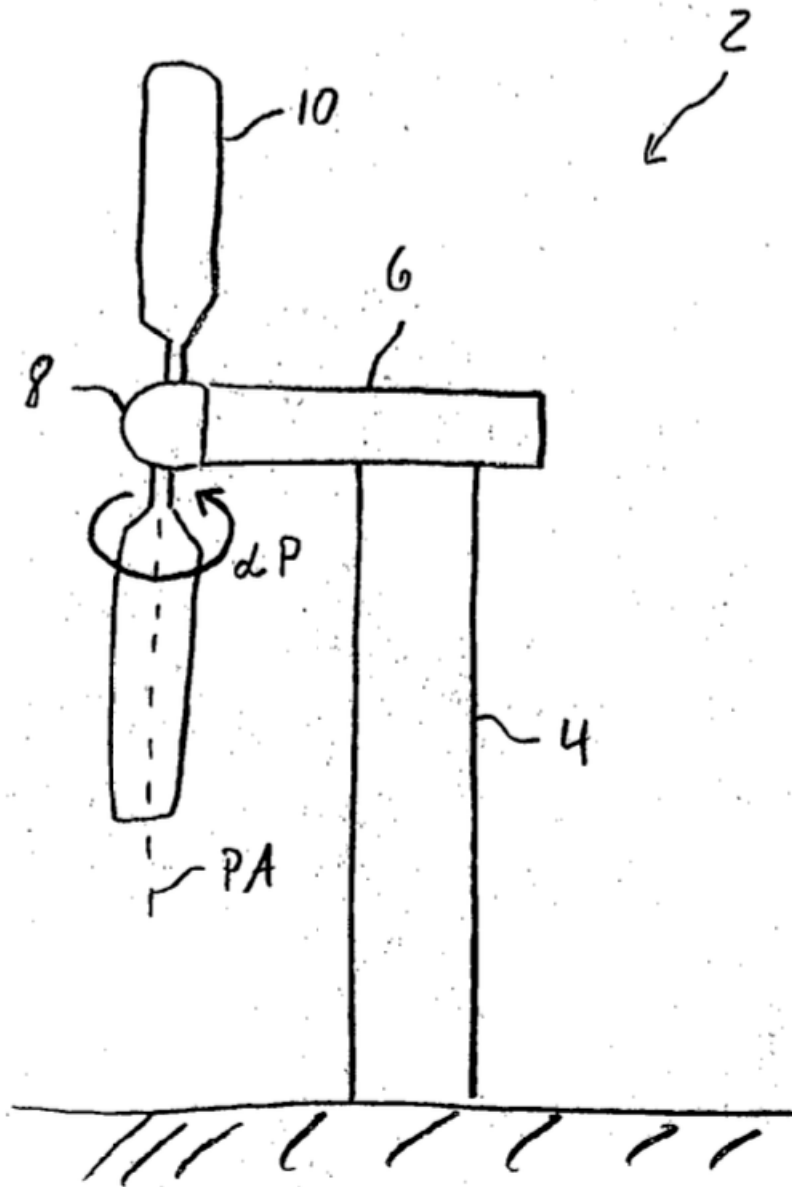


Fig. 2

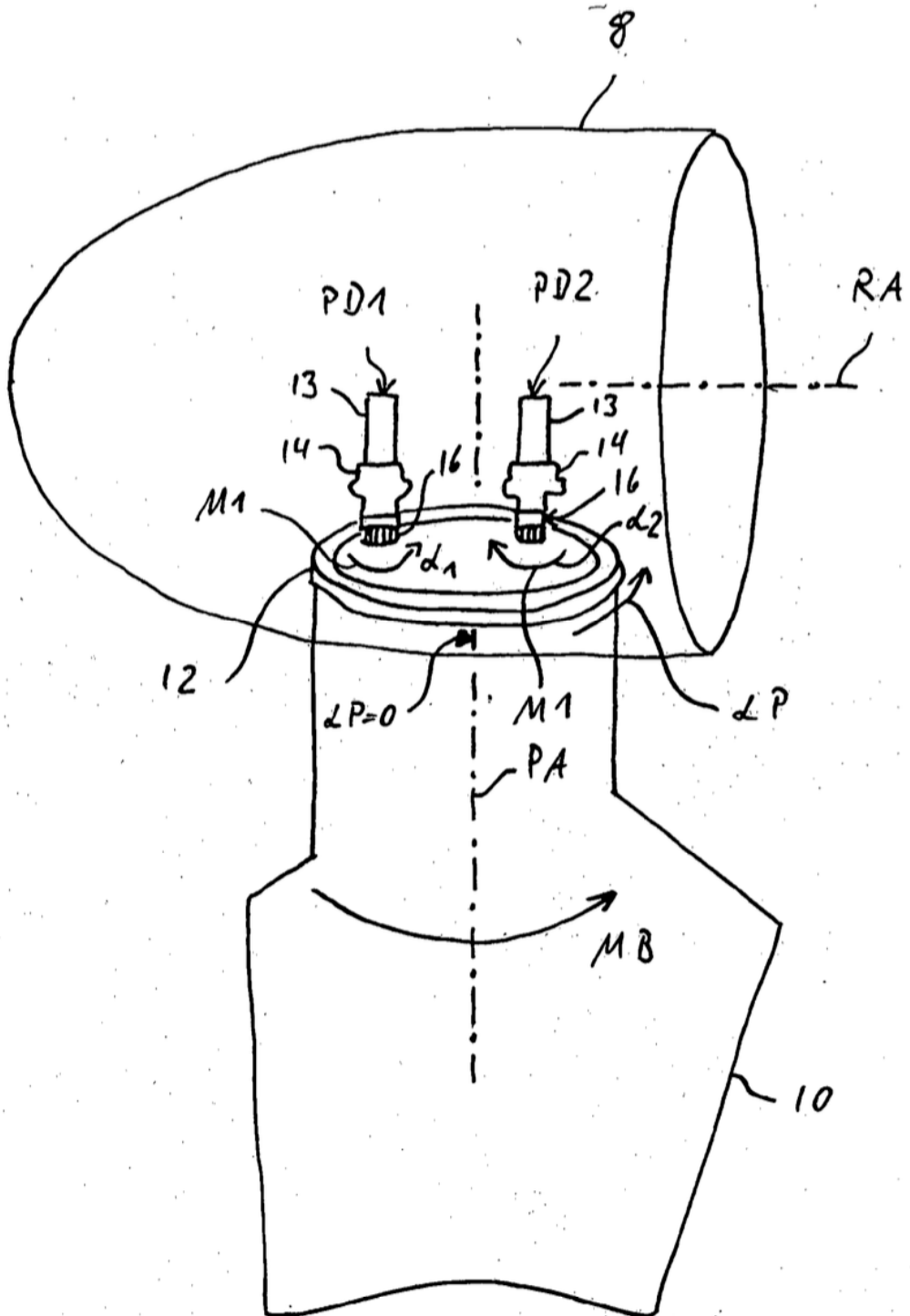


Fig. 3

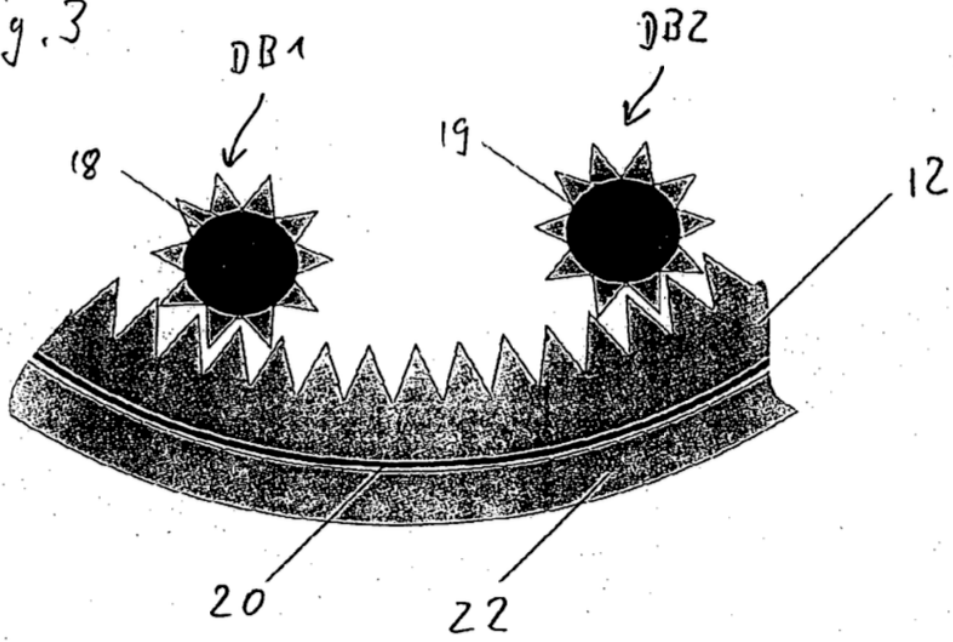
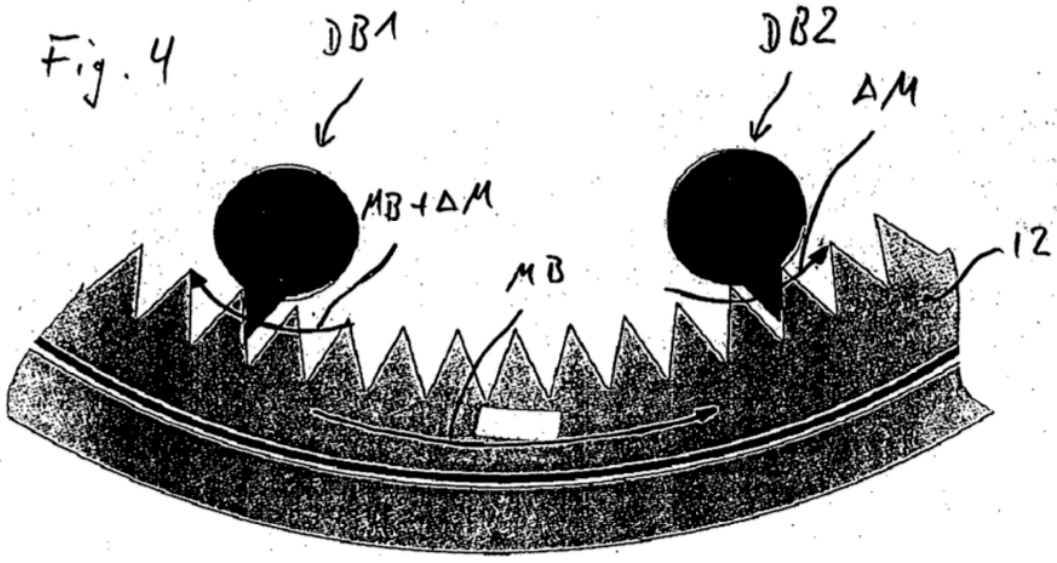


Fig. 4



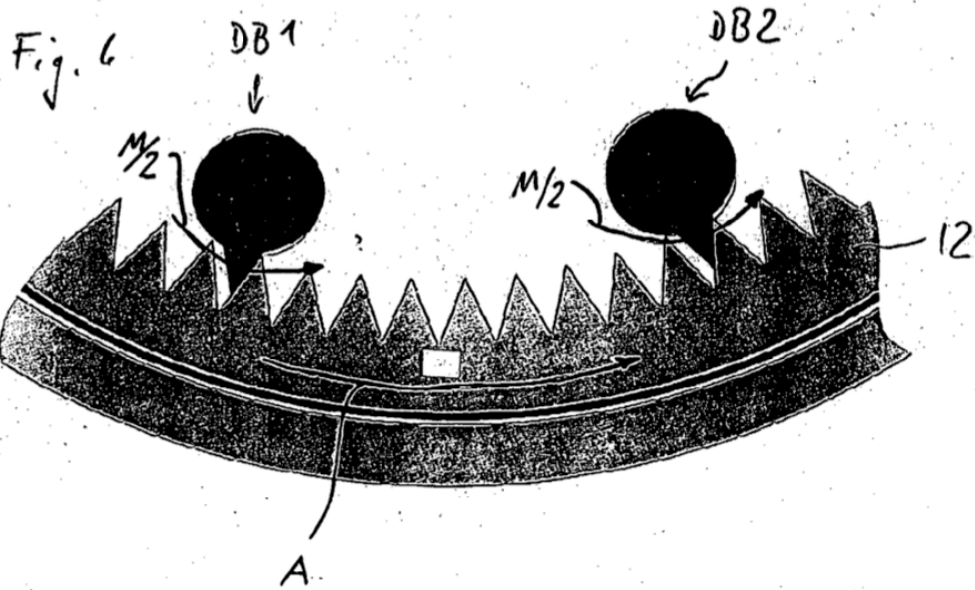
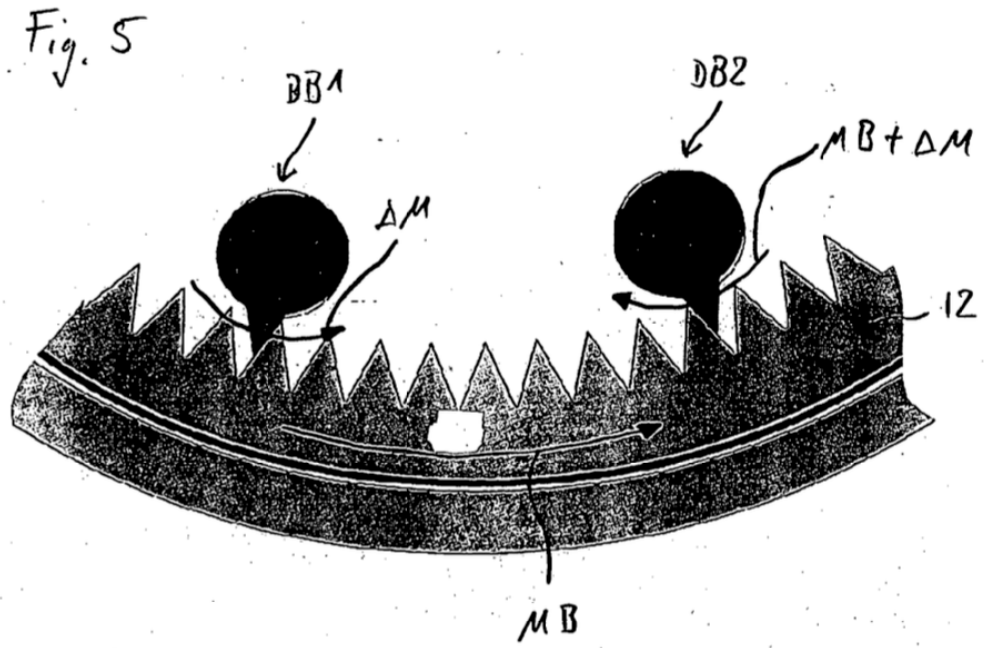
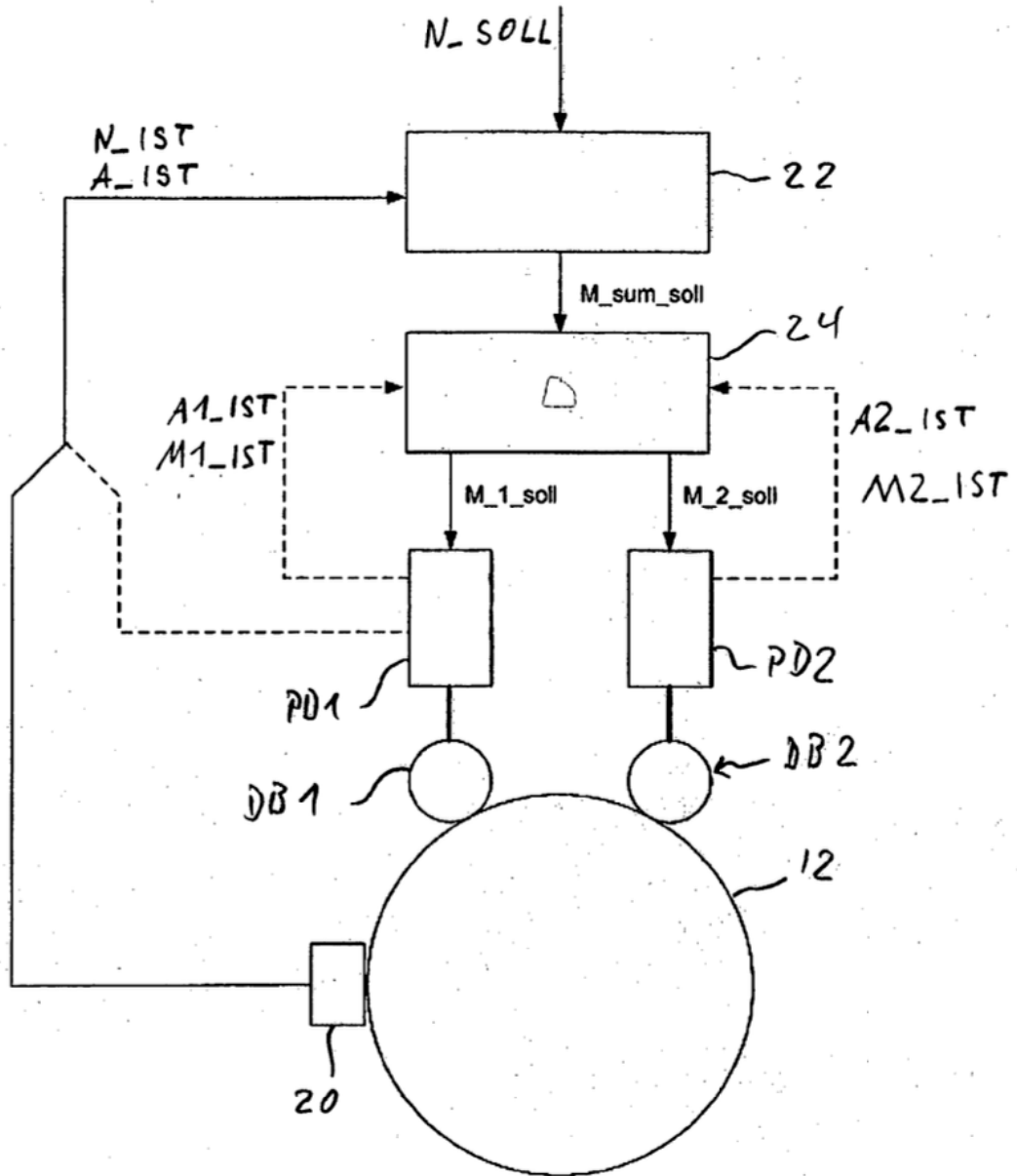




Fig. 7



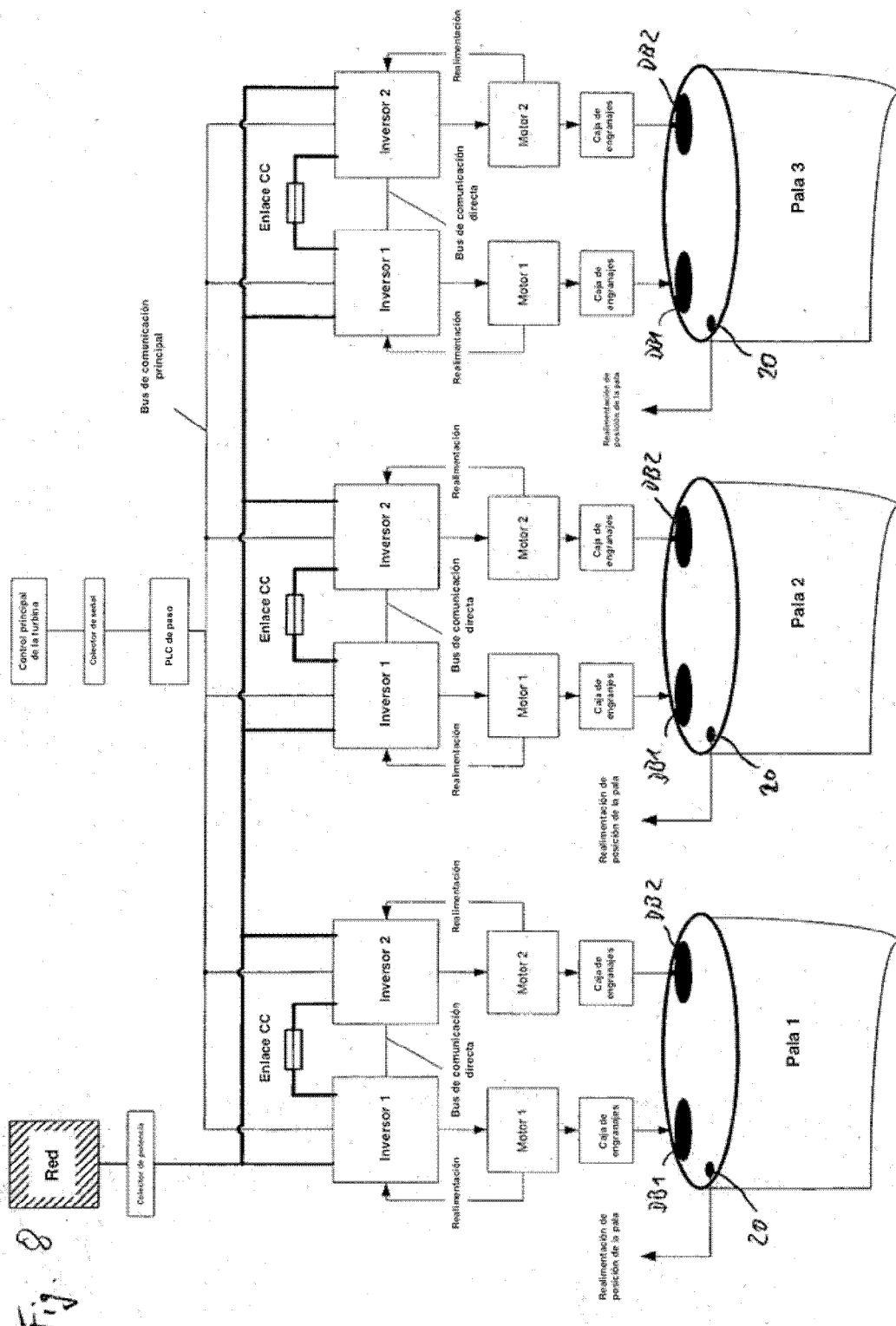


Fig. 8