

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 857**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

F03D 11/02 (2006.01)

F16H 3/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2010 E 10732248 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 2449258**

54 Título: **Engranaje diferencial para instalación de obtención de energía y procedimiento para el funcionamiento**

30 Prioridad:

02.07.2009 AT 10352009

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

24.11.2015

73 Titular/es:

**HEHENBERGER, GERALD (100.0%)
Kinkstrasse 30
9020 Klagenfurt, AT**

72 Inventor/es:

HEHENBERGER, GERALD

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 551 857 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

Engranaje diferencial para instalación de obtención de energía y procedimiento para el funcionamiento

5 La invención se refiere a un engranaje diferencial para una instalación de obtención de energía, en particular para un aerogenerador, con tres accionamientos de entrada o salida, en el que un primer accionamiento de entrada está conectado con un árbol de accionamiento de la instalación de obtención de energía, un accionamiento de salida está conectado con un generador conectable con una red y un segundo accionamiento de entrada está conectada con una máquina eléctrica como accionamiento de diferencial.

10

La invención se refiere además un procedimiento para el funcionamiento de un engranaje diferencial para una instalación de obtención de energía, en particular para un aerogenerador, con tres accionamientos de entrada o salida, en el que un primer accionamiento de entrada está conectado con un árbol de accionamiento de la instalación de obtención de energía, un accionamiento de salida está conectado con un generador conectable con una red y un segundo accionamiento de entrada está conectada con una máquina eléctrica como accionamiento de diferencial.

15

Un engranaje diferencial semejante y un procedimiento semejante se conocen por el documento WO 2006/010190 A1, el US 2008/054643 A1 y el WO 2009/016508 A2.

20

Las centrales eólicas ganan en importancia de forma creciente como instalaciones de generación de electricidad. De este modo se aumenta continuamente la fracción porcentual de la generación de corriente gracias al viento. Esto condiciona de nuevo, por un lado, nuevos estándares respecto a la calidad de la corriente y, por otro lado, una tendencia a aerogeneradores todavía más grandes. Simultáneamente se puede reconocer una tendencia en la dirección de aerogeneradores offshore, que requiere tamaños de instalaciones de al menos 5 MW de potencia instalada. Debido a los costes elevados para la infraestructura y el mantenimiento o conservación de los aerogeneradores en el sector offshore, tanto el rendimiento como también la disponibilidad de las instalaciones ganan aquí un significado especial.

25

Es común a todas las instalaciones la necesidad de una velocidad de giro del rotor variable, por un lado, para el aumento del rendimiento aerodinámico en el rango de carga parcial y, por otro lado, para la regulación del par de fuerzas en el tren de transmisión del aerogenerador. Lo último con la finalidad de la regulación de la velocidad de giro del rotor en combinación con el ajuste de la pala de rotor. Actualmente se usan en su mayor parte aerogeneradores que satisfacen este requisito mediante el uso de soluciones de generador de velocidad variable en la forma de así denominadas máquinas trifásicas doblemente alimentadas o generadores síncronos en combinación con variadores de frecuencia. No obstante, estas soluciones tienen la desventaja de que (a) el comportamiento eléctrico de los aerogeneradores en el caso de una perturbación de la red sólo satisface de forma condicionada los requisitos de las empresas suministradoras de electricidad, (b) los aerogeneradores sólo se pueden conectar con la red de media tensión mediante una estación transformadora y (c) los variadores de frecuencia necesarios para la velocidad de giro variable son de gran potencia y por ello son una fuente de pérdidas de rendimiento.

40

Estos problemas se pueden resolver mediante el uso de los generadores síncronos de media tensión de excitación separada. No obstante, en este caso se requieren soluciones alternativas para satisfacer la exigencia según la velocidad de giro del rotor variable o regulación del par de fuerzas en el tren de transmisión del aerogenerador. Una posibilidad es el uso de engranajes diferenciales que permiten una velocidad de giro variable del rotor del aerogenerador mediante la modificación de la relación de transmisión con velocidad de giro de generador constante.

45

El documento WO2004/109157 A1 muestra un concepto "multimodo" complejo, hidrostático con varias etapas diferenciales paralelas y varios acoplamientos conmutables, por lo que se puede conmutar entre los modos individuales. Con la solución técnica mostrada se pueden reducir la potencia y por consiguiente las pérdidas de la unidad hidrostática. No obstante, una desventaja esencial es la complicada estructura de toda la unidad. Además, la conmutación entre las etapas individuales representa un problema en la regulación del aerogenerador.

50

El documento EP 1283359 A1 muestra un engranaje diferencial de 1 etapa con accionamiento de diferencial eléctrico, con una máquina trifásica especial posicionada coaxialmente alrededor del árbol de entrada con velocidad de giro nominal baja y una gran potencia nominal, en relación al rango de velocidad de giro realizado.

55

Las desventajas de las realizaciones conocidas son, por un lado, pérdidas elevadas en el accionamiento de diferencial o, por otro lado, en el caso de conceptos que resuelven este problema, mecánica compleja o construcción

de máquina eléctrica especial y por consiguiente costes elevados. En las soluciones hidrostáticas la vida útil de las bombas usadas es además un problema o requiere un elevado esfuerzo en adaptación a las condiciones extremas del entorno. Generalmente se debe constatar que los rangos seleccionados de velocidad de giro nominal son demasiado pequeños para la regulación de cargas extremas o demasiado grandes para un aporte de energía óptimo del aerogenerador.

El objetivo de la invención es evitar ampliamente las desventajas arriba mencionadas y poner a disposición un accionamiento de diferencial que garantice junto a costes lo más bajos posibles tanto el máximo aporte de energía como también la regulación óptima del aerogenerador.

Este objetivo se consigue mediante un engranaje diferencial con las características de la reivindicación 1.

Este objetivo se consigue además con un procedimiento con las características de las reivindicaciones 14 y/o 15.

Formas de realización preferidas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Mediante la fijación de la relación de transmisión del engranaje diferencial se amplía esencialmente hacia abajo el rango de velocidad de giro del rotor de la instalación de obtención de energía para velocidades de circulación bajas, dado que el accionamiento de diferencial queda conectado a la red como único generador (el generador principal está separado de la red), por consiguiente permite velocidades de giro de rotor más bajas y por ello el aporte de energía anual de la instalación de obtención de energía se aumenta correspondientemente.

A continuación se describen en detalle formas de realización preferidas de la invención en referencia a los dibujos agregados.

Fig. 1 muestra para un aerogenerador de 5 MW según el estado de la técnica la curva de potencia, la velocidad de giro del rotor y los valores característicos que se producen por ello como velocidad específica y el coeficiente de potencia,

Fig. 2 muestra el principio de un engranaje diferencial con un accionamiento de diferencial eléctrico según el estado de la técnica,

Fig. 3 muestra el principio de una máquina trifásica orientada coaxialmente al árbol de entrada de la etapa diferencial,

Fig. 4 muestra las relaciones de velocidades de giro en el rotor del aerogenerador y los pares de fuerzas de entrada máximos $M_{m\acute{a}x}$ que se producen por ello para el accionamiento de diferencial,

Fig. 5 muestra a modo de ejemplo las relaciones de velocidad de giro y potencia de un accionamiento de diferencial eléctrico respecto a la velocidad del viento,

Fig. 6 muestra la diferencia del aporte de energía bruto para rangos de velocidad de giro nominal distintos con velocidades del viento anuales medias diferentes para un accionamiento de diferencial eléctrico con 80% de rango de debilitamiento de campo,

Fig. 7 muestra una solución posible según la invención con un freno entre el accionamiento de diferencial y árbol de rotor del generador síncrono,

Fig. 8 muestra las curvas características de velocidad de giro del accionamiento de diferencial y árbol de accionamiento para la forma de realización según la invención de un engranaje diferencial,

Fig. 9 muestra una forma de realización alternativa de un engranaje diferencial con un freno entre un primer accionamiento de entrada conectado con el árbol de accionamiento de la instalación de obtención de energía y el accionamiento de diferencial.

La potencia del rotor de un aerogenerador se calcula por la fórmula

$$\text{Potencia del rotor} = \text{superficie de rotor} * \text{coeficiente de potencia} * \text{densidad del aire}/2 * \text{velocidad del viento}^3$$

en la que el coeficiente de potencia depende de la velocidad específica (= relación de velocidad de punta de pala respecto a la velocidad del viento) del rotor del aerogenerador. El rotor de un aerogenerador está diseñado para un coeficiente de potencia óptimo, que se basa en una velocidad específica a fijar en el curso del desarrollo (la mayoría de las veces un valor entre 7 y 9). Por este motivo, durante el funcionamiento del aerogenerador en el rango de carga parcial se debe ajustar una velocidad de giro correspondientemente pequeña para garantizar un rendimiento aerodinámico óptimo.

La fig. 1 muestra las relaciones para la potencia del rotor, velocidad de giro del rotor, velocidad específica y coeficiente de potencia para un rango de velocidad de giro máximo predeterminado del rotor o de una velocidad específica óptima de 8,0-8,5. Por el diagrama se puede ver que tanto la velocidad específica se desvía de su valor óptimo de 8,0-8,5, el coeficiente de potencia desciende y por consiguiente según la fórmula mencionada arriba se reduce la potencia del rotor conforme a la característica aerodinámica del rotor.

La fig. 2 muestra un principio posible de un sistema diferencial para un aerogenerador, que se compone de una etapa diferencial 3 u 11 a 13, una etapa de engranaje de adaptación 4 y un accionamiento de diferencial 6. El rotor 1 del aerogenerador, que descansa sobre el árbol de accionamiento 9 para el engranaje principal 2, impulsa el engranaje principal 2. El engranaje principal 2 es un engranaje de 3 etapas con dos etapas planetarias y una etapa de engranaje recto. Entre el engranaje principal 2 y el generador 8 se sitúa la etapa diferencial 3, que se acciona por el engranaje principal 2 a través del portaplanetas 12 de la etapa diferencial 3. El generador 8, preferentemente un generador síncrono de excitación separada, que en caso de necesidad también puede tener una tensión nominal mayor de 20 kV, está conectado con la corona 13 de la etapa diferencial 3 y se acciona por la misma. El piñón 11 de la etapa diferencial 3 está conectado con el accionamiento de diferencial 6. La velocidad de giro del accionamiento de diferencial 6 se regula para garantizar, por un lado, con velocidad de giro variable del rotor 1 una velocidad de giro constante del generador 8 y, por otro lado, regular el par de fuerzas en el tren de transmisión completo del aerogenerador. A fin de aumentar la velocidad de giro de entrada para el accionamiento de diferencial 6, en el caso mostrado se selecciona un engranaje diferencial de 2 etapas que prevé una etapa de engranaje de adaptación 4 en forma de una etapa de engranaje recto entre la etapa diferencial 3 y el accionamiento de diferencial 6. La etapa diferencial 3 y la etapa de engranaje de adaptación 4 forman por consiguiente el engranaje diferencial de 2 etapas. El accionamiento de diferencial es una máquina trifásica que se conecta con la red 10 a través de un variador de frecuencia 7 y un transformador 5.

La fig. 3 muestra otra forma de realización posible del engranaje diferencial. El rotor 1 impulsa el engranaje principal 2 y éste a través del portaplanetas 12 la etapa diferencial 11 a 13. El generador 8 está conectado con la corona 13 y el piñón 11 con el accionamiento de diferencial 6. El engranaje diferencial 3 es de 1 etapa y el accionamiento de diferencial 6 está en disposición coaxial tanto respecto al árbol accionado del engranaje principal 2, como también respecto al árbol de accionamiento del generador 8. En el generador 8 está previsto un árbol hueco que permite que el engranaje diferencial 6 se posicione en el lado del generador 8 opuesto al engranaje diferencial. De este modo la etapa diferencial es preferentemente un grupo constructivo separado, unido al generador 8, que está conectado luego preferentemente a través de un acoplamiento 14 y un freno principal 15 con el engranaje principal 2. El árbol de conexión 16 entre el piñón 11 y el accionamiento de diferencial 6 puede estar realizado preferentemente en una variante de realización resistente a torsión, de bajo momento de inercia como, por ejemplo, árbol tubular de compuesto de fibras con fibras de vidrio y/o fibras de carbono.

La ecuación de la velocidad de giro para el engranaje diferencial es:

$$\text{Velocidad de giro}_{\text{generador}} = x * \text{velocidad de giro}_{\text{rotor}} + y * \text{velocidad de giro}_{\text{accionamiento de diferencial}},$$

en la que la velocidad de giro del generador es constante y los factores x e y se pueden derivar de las relaciones de transmisión seleccionadas del engranaje principal y engranaje diferencial. El par de fuerzas en el rotor se determina mediante la oferta de viento presente y el rendimiento aerodinámico del rotor. La relación entre el par de fuerzas en el árbol de rotor y el del accionamiento de diferencial es constante, por lo que el par de fuerzas en el tren de transmisión se puede regular mediante el accionamiento de diferencial. La ecuación del par de fuerzas para el accionamiento de diferencial es:

$$\text{Par de fuerzas}_{\text{accionamiento de diferencial}} = \text{par de fuerzas}_{\text{rotor}} * y/x,$$

en la que el factor de magnitud y/x es una medida para el par de fuerzas de diseño necesario del accionamiento de diferencial.

La potencia del accionamiento de diferencial es esencialmente proporcional al producto de la desviación porcentual de la velocidad de giro del rotor por su velocidad de giro base (velocidad de giro del rotor en la que el accionamiento de diferencial tiene la velocidad de giro igual a cero) por la potencia del rotor. Correspondientemente un gran rango de velocidad de giro requiere básicamente un dimensionamiento correspondientemente grande del accionamiento de diferencial.

La fig. 4 muestra esto a modo de ejemplo para distintos rangos de velocidad de giro. El +/- rango de velocidad de giro nominal del rotor define su desviación porcentual entre la velocidad de giro y la velocidad de giro base del rotor, que se puede realizar sin debilitamiento de campo con la velocidad de giro nominal del accionamiento de diferencial (- ... motor o + ... generador). La velocidad de giro nominal (n) del accionamiento de diferencial define en el caso de una máquina eléctrica trifásica esa velocidad de giro máxima, en la que ésta puede producir de forma permanente el par de fuerzas nominal (M_n) o la potencia nominal (P_n).

En el rango de potencia nominal el rotor del aerogenerador gira con la velocidad de giro promedio n_{rated} entre los límites $n_{m\acute{a}x}$ y $n_{m\acute{i}n-m\acute{a}xP}$, en el rango de carga parcial entre n_{rated} y $n_{m\acute{i}n}$, en este ejemplo obtenible con un rango de debilitamiento de campo del 80% (esto se corresponde con una velocidad de giro máxima del accionamiento de diferencial de 1,8 veces la velocidad de giro nominal). El rango de velocidad de giro de regulación entre $n_{m\acute{a}x}$ y $n_{m\acute{i}n-m\acute{a}xP}$, que se puede realizar sin reducción de carga, se selecciona suficientemente grande para poder regular las rachas de viento. El tamaño de este rango de velocidad de giro depende del racheado del viento o de la inercia del rotor del aerogenerador y de la dinámica del sistema de paso (sistema de ajuste de la pala de rotor), y se sitúa habitualmente en aproximadamente +/- 5%. En el ejemplo mostrado se ha seleccionado un rango de velocidad de giro de regulación de +/- 6% para tener reservas correspondientes para la regulación de ráfagas extremas con la ayuda de los accionamientos de diferencial. En este rango de velocidad de giro de regulación, el aerogenerador debe producir la potencia nominal, lo que significa que el accionamiento de diferencial se carga en este caso con el par de fuerzas máximo. Es decir, que el +/- rango de velocidad de giro nominal del rotor debe ser al menos aproximadamente igual de grande, dado que el accionamiento de diferencial sólo puede dar su par de fuerzas nominal en este rango.

En el caso de accionamientos de diferencial eléctricos e hidrostáticos con una etapa diferencial, la velocidad de giro del rotor, en la que el accionamiento de diferencial tiene la velocidad de giro igual a 0, se denomina la velocidad de giro base. Dado que ahora en rangos de velocidad de giro del rotor pequeños la velocidad de giro base se sitúa por encima de $n_{m\acute{i}n-m\acute{a}xP}$, el accionamiento de diferencial tiene que poder producir el par de fuerzas nominal con velocidad de giro igual a 0. No obstante, los accionamientos de diferencial, sean eléctricos o también hidráulicos, sólo pueden generar con velocidad de giro igual a 0 un par de fuerzas que se sitúa claramente por debajo del momento nominal, lo que sólo se puede compensar mediante un sobredimensionamiento correspondiente en el diseño. Por consiguiente para este ejemplo de realización se produce un rango de velocidad de giro nominal mínimo óptimo en este sentido de alrededor +/- 14%.

En la fig. 5 se ven a modo de ejemplo las relaciones de velocidad de giro o potencia para una etapa diferencial con un rango de velocidad de giro nominal de +/- 14%. La velocidad de giro del generador, preferentemente un generador síncrono de media tensión de excitación separada, es contante mediante la conexión a la red de corriente de frecuencia fija. Para poder usar de forma correspondientemente adecuada el accionamiento de diferencial, este accionamiento se hace funcionar de forma motora en el rango menor de la velocidad de giro base y de forma generadora en el rango mayor de la velocidad de giro base. Esto conduce a que en el rango motor se alimente potencia en la etapa diferencial y en el rango generador se toma potencia de la etapa diferencial. Esta potencia se toma en el caso de un accionamiento de diferencial eléctrico preferentemente de la red o se alimenta en ésta. En el caso de un accionamiento de diferencial hidráulico se toma la potencia preferentemente del árbol de accionamiento del generador o se le suministra a éste. La suma de la potencia del generador y la potencia del accionamiento de diferencial da la potencia total entregada en la red para un accionamiento de diferencial eléctrico.

La fig. 6 muestra la diferencia del aporte de energía bruto del aerogenerador con accionamiento de diferencial eléctrico en el caso de distintas velocidades del viento anuales promedio en función del rango de velocidad de giro nominal del rotor del aerogenerador. En este caso el aporte de energía bruto se basa en la potencia entregada del rotor del aerogenerador menos las pérdidas del accionamiento de diferencial (incl. variador de frecuencia) y engranaje diferencial.

La velocidad del viento anual promedio es en este caso la media anual de la velocidad del viento medida a la altura del buje (se corresponde con el centro del rotor). Las velocidades del viento anuales promedio máximas de 10,0 m/s, 8,5 m/s, 7,5 m/s y 6,0 m/s se corresponden con las así denominadas clases de tipos IEC 1, 2, 3 y 4. Como

distribución de frecuencia estadística se toma de forma estándar una distribución de Rayleigh.

Un rango de velocidad de giro nominal de $\pm 6\%$ es la base para el ejemplo, que se requiere mediante un rango de velocidad de giro de regulación requerido mínimo en el rango de potencia nominal de los aerogeneradores con accionamientos de diferencial, significando el rango de velocidad de giro nominal ese rango de velocidad de giro del rotor que se puede realizar con velocidad de giro nominal del accionamiento de diferencial. Además, se adopta un rango de debilitamiento de campo de hasta el 80% respecto a la velocidad de giro nominal del accionamiento de diferencial. De la gráfica se puede reconocer fácilmente que para velocidades del viento anuales promedio bajas se consigue el óptimo con un rango de velocidad de giro nominal de aproximadamente $\pm 20\%$ y un ensanchamiento del rango de velocidad de giro nominal no trae además ventajas, dado que las pérdidas de rendimiento mayores por parte del accionamiento de diferencial mayor compensan o sobrepasan las ganancias de rendimiento por parte del rango de velocidad de giro mayor. Este óptimo se desplaza para las velocidades del viento anuales promedio mayores en la dirección $\pm 15\%$ de rango de velocidad de giro nominal.

La fig. 7 muestra una forma de realización según la invención de un engranaje diferencial. Al sistema, según se describe básicamente en la fig. 3, se le añade un freno rotativo 17 que, en cuanto está activado, conecta el árbol de conexión 16 del accionamiento de diferencial 6 de forma solidaria en rotación con el árbol de rotor 18 del generador síncrono 8. El freno 17 se compone en la variante de realización mostrada de una o varias pinzas de freno, que están conectadas con el árbol de rotor 18 del generador síncrono 8, y uno o varios discos de freno conectados con el árbol de conexión 16. Pero asimismo las pinzas de freno pueden estar conectadas con el árbol de conexión 16 o el/los disco(s) de freno con el árbol de rotor 18.

El rotor del aerogenerador tiene, por ejemplo, un \pm rango de velocidad de giro nominal del 14%, por lo que con una transmisión del engranaje diferencial 3 de aproximadamente -5 , para un accionamiento de diferencial mostrado, se produce una velocidad de giro nominal de 1075 rpm. Esto permite en el funcionamiento clásico del aerogenerador, es decir, con freno 17 no activado, y el funcionamiento del accionamiento de diferencial 6 con hasta el 80% de rango de debilitamiento de campo, una velocidad de giro mínimo del rotor del aerogenerador de 8,3 rpm (compárese la fig. 4). En el caso de una velocidad del viento de conexión de 3 m/s se produce de este modo una velocidad específica del rotor de alrededor de 19 con un coeficiente de potencia de alrededor 0,12. No obstante, esto significa un empeoramiento masivo del aporte de energía, en comparación a un coeficiente de potencia posible máximo de alrededor de 0,49.

Cuando se observa ahora exactamente la fig. 5, entonces se puede reconocer que, por debajo de una velocidad del viento de 7 m/s, la velocidad de giro en el árbol de accionamiento 16 alcanza como máximo aproximadamente 1000 rpm, que es aproximadamente la velocidad de giro nominal del accionamiento de diferencial. Es decir, en el caso de una conexión solidaria en rotación del árbol de accionamiento 16 y árbol de rotor 18 del generador síncrono 8 por parte del freno 17 apretado se puede usar el accionamiento de diferencial 6 como generador, que se conecta con la red 10 mediante el variador 7 y transformador 5, con separación simultánea del generador síncrono 8 de la red, mediante por ejemplo interruptor 19.

El accionamiento de diferencial es preferentemente una máquina trifásica (p. ej. máquina asíncrona clásica o una máquina síncrona con excitación de imán permanente, de momento especialmente bajo de inercia), que en conexión con un variador de frecuencia 7 posibilita un gran rango de velocidad de giro específico al uso (es decir, de la velocidad de giro igual a cero hasta en el rango de debilitamiento de campo máximo, p. ej. 1,8 veces la velocidad de giro nominal). Por consiguiente la velocidad de giro del accionamiento de diferencial se ajusta de modo que se puede realizar la velocidad específica óptima en el rotor del aerogenerador.

La fig. 8 muestra a modo de ejemplo curvas características de dos modos de funcionamiento que se superponen entre una velocidad de viento promedio de 4,5 m/s y 5,5 m/s (rango caracterizado por dos líneas verticales). Debido a la distribución estocástica de la velocidad del viento es necesaria esta histéresis para evitar una conmutación constante entre los dos modos de funcionamiento. Es decir, cuanto mayor es esta histéresis, tanto menos frecuente se debe conmutar de un modo de funcionamiento al otro. En este caso el modo de funcionamiento con "accionamiento de diferencial 6 como generador" se limita la potencia nominal del accionamiento de diferencial 6. En el caso del modo de funcionamiento "generador síncrono 8 en la red", el rango de velocidad de giro se limita por el \pm rango de velocidad de giro seleccionado o por el rango de debilitamiento de campo seleccionado del accionamiento de diferencial 6. Otra ventaja es que, en el rango de menor entrega de potencia, el rendimiento del accionamiento de diferencial 6 es esencialmente mejor que el del generador síncrono 8 mayor en un múltiplo.

Mediante este ensanchamiento del rango de velocidad de giro del rotor del aerogenerador se puede aumentar el

aporte de energía anual del aerogenerador en hasta el 1,5%. Además, el +/- rango de velocidad de giro nominal del rotor del aerogenerador se puede reducir a un mínimo necesario técnicamente por regulación, dado que en el modo de funcionamiento "accionamiento de diferencial 6 como generador", con velocidades del viento bajas se puede bajar a voluntad la velocidad de giro del accionamiento de diferencial 6 sin limitaciones esenciales. Por consiguiente se reduce el tamaño del accionamiento de diferencial a un óptimo de costes.

El proceso de conmutación entre los dos modos de funcionamiento se puede realizar como sigue. Si se sitúa en el modo de funcionamiento "accionamiento de diferencial 6 como generador" y, debido a velocidad del viento promedio creciente, quiere conmutar al modo de funcionamiento "generador síncrono 8 en la red", entonces en primer la potencia del aerogenerador se regula a aprox. cero mediante el ajuste de la pala de rotor y en la siguiente etapa se suelta el freno 17. A continuación el generador síncrono 8 se sincroniza con la red mediante el accionamiento de diferencial 6. En cuanto se produce esto, el interruptor 19 se puede cerrar, por lo que el generador síncrono 8 está en la red y a continuación el aerogenerador puede ir de nuevo al funcionamiento de producción. Este proceso sólo dura algunos segundos y de este modo no provoca mermas dignas de mención respecto al aporte de energía del aerogenerador.

Si se sitúa en el modo de funcionamiento "generador síncrono 8 en la red" y, debido a una velocidad del viento promedio descendente, quiere conmutar al segundo modo de funcionamiento "accionamiento de diferencial 6 como generador", así en primer lugar la potencia del aerogenerador se regula igualmente a aprox. cero mediante el ajuste de la pala de rotor. A continuación el generador síncrono 8 se separa sencillamente de la red mediante la apertura del interruptor 19, luego la velocidad del accionamiento de diferencial 6 se lleva a aprox. la velocidad de giro del árbol de rotor 18 del generador síncrono 8 y a continuación se activa el freno 17. A continuación el aerogenerador puede ir de nuevo al funcionamiento de producción. Un frenado sencillo del accionamiento de diferencial 6 es posible igualmente alternativamente, no obstante, provoca una carga más elevada del freno 17.

La fig. 9 muestra una forma de realización alternativa de un engranaje diferencial con una conexión separable, solidaria en rotación. Al sistema, según se describe básicamente en la fig. 2, se le implementa un freno 20 entre el árbol de piñón 21 y a la rueda dentada 22, conectada con el portaplanetas 12 del engranaje diferencial 3, de la etapa de engranaje recto del engranaje principal 2. El freno 20 se compone en la variante de realización mostrada de una o varias pinzas de freno que están conectadas con la rueda dentada 22 y de uno o varios discos de freno conectados con el árbol de piñón 21. De este modo se produce el mismo efecto que en la fig. 7 para un freno 17 entre el árbol de accionamiento 16 y árbol de rotor 18 del generador síncrono 8.

Es decir, este principio funciona en cuanto dos árboles cualesquiera de tres accionamientos de entrada o salida de un engranaje diferencial se conectan entre sí de forma solidaria en rotación, y por consiguiente la transmisión del engranaje diferencial 3 es igual a 1. Evidentemente también se puede concebir cualquier otra solución con la que se puede bloquear el engranaje diferencial 3, de modo que su transmisión se puede fijar a 1, como por ejemplo con al menos una rueda planetaria bloqueada del portaplanetas 12.

En lugar del freno descrito para la conexión solidaria en rotación de dos árboles cualesquiera de las accionamientos de entrada o salida de un engranaje diferencial también se puede usar, por ejemplo, cualquier tipo de acoplamiento (p. ej. láminas, o acoplamiento de garras), siendo proporcionalmente más complicada, al usar por ejemplo un acoplamiento de garras, la sincronización de los árboles a conectar de forma solidaria en rotación que con por ejemplo un freno o un acoplamiento de láminas.

En el diseño de los accionamientos de diferencial se deben contemplar además todavía otros casos especiales importantes. Así, por ejemplo, mediante la relación constante de velocidad de giro del rotor respecto a la velocidad de giro en el accionamiento de diferencial, un fallo del accionamiento de diferencial puede arrastrar daños graves. Un ejemplo es el fallo del accionamiento de diferencial en el funcionamiento nominal del aerogenerador. De este modo va inmediatamente a cero el par de fuerzas transferible en el tren de transmisión. La velocidad de giro del rotor del aerogenerador se reduce bruscamente en este caso, por ejemplo, mediante un ajuste rápido del ajuste de pala de rotor y el generador se separa de la red. Debido a la inercia relativamente elevada del generador, éste sólo modificará lentamente su velocidad de giro. Por ello es inevitable, si el accionamiento de diferencial no se puede mantener al menos parcialmente sin retardo su par de fuerzas, una velocidad de giro excesiva del accionamiento de diferencial.

Por este motivo está previsto, por ejemplo, al usar accionamientos de diferencial hidrostáticos, un freno mecánico que impida velocidades de giro excesivas perjudiciales en caso de fallo del accionamiento de diferencial para el tren de transmisión. El documento WO2004/109157 A1 muestra con esta finalidad un freno mecánico con pinzas de

freno solidarias a la carcasa, que actúa directamente en el árbol de generador y puede frenar por consiguiente correspondientemente el generador.

No obstante, de la misma manera se puede usar el freno 17 ó 20 para evitar una velocidad de giro excesiva perjudicial. La velocidad de giro máxima del accionamiento de diferencial que se puede ajustar en este caso se corresponde entonces con la velocidad de giro del rotor del aerogenerador multiplicada por la relación de transmisión del engranaje principal 2, que están p. ej. en el ejemplo de realización según la fig. 7 alrededor de 1500 rpm. El freno 17 ó 20 se puede realizar por motivos de seguridad como así el denominado freno de seguridad (así denominado freno *fail-safe*), lo que significa que se abre contra la fuerza de resorte y por consiguiente se activa automáticamente en caso de fallo de la energía de suministro.

No obstante, las variantes de realización según la fig. 7 y fig. 9 se diferencian esencialmente respecto a los efectos de un así denominado freno de emergencia del aerogenerador mediante un freno principal 15. Si se parte de que en caso de activación del freno principal 15 actúa habitualmente un momento de frenado de hasta 2,5 veces el momento nominal, entonces éste actúa dividido en el rotor, generador y accionamiento de diferencial conforme a sus momentos de inercia reducidos. Éstos dependen naturalmente de las relaciones de masas del aerogenerador realizado. Como ejemplo realista se puede adoptar, en caso de funcionamiento nominal de un aerogenerador de 5 MW referido al freno principal 15 aproximadamente 1.900 kgm^2 para el rotor 1, por ejemplo 200 kgm^2 para el generador síncrono 8 y aproximadamente 10 kgm^2 para el accionamiento de diferencial 6. Es decir, una gran parte (aproximadamente el 90% o 2,2 veces el momento nominal de rotor) del momento de frenado actúa sobre el árbol de rotor del aerogenerador. Dado que ahora, en la variante de realización según la fig. 9, el accionamiento de diferencial 6 se sitúa en el flujo de par de fuerzas entre el freno principal 15 y rotor 1, éste debe mantener, conforme a las relaciones de par de fuerzas constantes entre el rotor 1 y el accionamiento de diferencial 6, igualmente aproximadamente 2,2 veces el momento nominal. No obstante, lo mismo es válido para el momento de diseño del freno 20.

Una ventaja esencial de la variante de realización según la fig. 7 es que, en caso de ocurrencia del freno principal 15, no actúa su momento de frenado a través del engranaje diferencial 3 sobre el rotor 1 que determina el momento de inercia. En este caso sólo actúan aproximadamente el 9,5% del momento de frenado sobre el generador 8 o aproximadamente el 0,5 % sobre al accionamiento de diferencial 6. Mediante la disposición mostrada según la fig. 7 del freno principal 15, rotor 1 y engranaje diferencial 3 no se requiere por ello un momento de diseño del freno 17 a través del par de fuerzas del accionamiento de diferencial 6 presente durante el funcionamiento.

Dado que es inaccesible un dispositivo para la limitación de la velocidad de giro que aparece como máximo del accionamiento de diferencial 6, se obtiene mediante el dispositivo descrito un ensanchamiento esencial del rango de velocidad de giro y por consiguiente un aumento considerable del aporte de energía anual sin ocasionar sobrecostes.

Las realizaciones arriba descritas se pueden aplicar igualmente en aplicaciones similares técnicamente. Esto se refiere ante todo a centrales hidroeléctricas para el uso de flujos de ríos y mares. Para esta aplicación son válidas las mismas condiciones previas básicas que para los aerogeneradores, a saber velocidad de flujo variable. El árbol de accionamiento se acciona de forma directa o indirecta en estos casos por los dispositivos accionados por el medio de flujo, por ejemplo agua. A continuación el árbol de accionamiento impulsa de forma directa o indirecta el engranaje diferencial.

45

REIVINDICACIONES

1. Engranaje diferencial para una instalación de obtención de energía, en particular para un aerogenerador, con tres accionamientos de entrada o salida, en el que un primer accionamiento de entrada está conectado con un árbol de accionamiento de la instalación de obtención de energía, un accionamiento de salida está conectado con un generador (8) conectable con una red (10) y un segundo accionamiento de entrada está conectado con una máquina eléctrica como accionamiento de diferencial (6), en el que el generador (8) se puede separar de la red (10), **caracterizado porque** la relación de transmisión del engranaje diferencial (3) se puede fijar en 1, en tanto que un accionamiento de entrada se puede conectar de forma solidaria en rotación con el otro accionamiento de entrada o con el accionamiento de salida.
2. Engranaje diferencial según la reivindicación 1, **caracterizado porque** un piñón (11) se puede conectar de forma solidaria en rotación con el portaplanetas (12).
3. Engranaje diferencial según la reivindicación 1, **caracterizado porque** un piñón (11) se puede conectar de forma solidaria en rotación con una corona (13).
4. Engranaje diferencial según la reivindicación 1, **caracterizado porque** una corona (13) se puede conectar de forma solidaria en rotación con un portaplanetas (12).
5. Engranaje diferencial según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la conexión solidaria en rotación presenta un freno (17, 20) o acoplamiento.
6. Engranaje diferencial según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la conexión solidaria en rotación es un dispositivo para impedir una velocidad de giro excesiva del accionamiento de diferencial (6) y/o del engranaje diferencial (3).
7. Engranaje diferencial según la reivindicación 1, **caracterizado porque** una rueda planetaria de un portaplanetas (12) se puede bloquear mediante un dispositivo de bloqueo.
8. Engranaje diferencial según la reivindicación 7, **caracterizado porque** el dispositivo de bloqueo es un freno o acoplamiento.
9. Engranaje diferencial según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado porque** el dispositivo de bloqueo es un dispositivo para impedir una velocidad de giro excesiva del accionamiento de diferencial (6) y/o del engranaje diferencial (3).
10. Engranaje diferencial según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el engranaje diferencial (3) es un engranaje planetario de una etapa.
11. Engranaje diferencial según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** un freno principal (15) actúa sobre la primera entrada.
12. Engranaje diferencial según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** el engranaje diferencial (6) se hace funcionar como generador mientras que el generador (8) está separado de la red (10).
13. Procedimiento para el funcionamiento de un engranaje diferencial para una instalación de obtención de energía, en particular para un aerogenerador, con tres accionamientos de entrada o salida, en el que un primer accionamiento de entrada está conectado con un árbol de accionamiento de la instalación de obtención de energía, un accionamiento de salida está conectado con un generador (8) conectable con una red (10) y un segundo accionamiento de entrada está conectado con una máquina eléctrica (6) como accionamiento de diferencial, **caracterizado porque** se conmuta de un modo de funcionamiento en el que tanto el generador (8) como también el accionamiento de diferencial (6) están conectados con la red (10), a otro modo de funcionamiento en el que el generador (8) está separado de la red (10) y el accionamiento de diferencial (6) está conectado con la red (10), de manera que en primer lugar la potencia de la instalación de obtención de energía se regula a cero, a continuación el generador (8) se separa de la red, luego la velocidad de giro del accionamiento de diferencial (6) se lleva a la velocidad de giro del árbol de rotor (18) del generador (8), a continuación la relación de transmisión del engranaje diferencial (3) se fija en 1 y finalmente la potencia de la instalación de obtención de energía se aumenta de nuevo.

14. Procedimiento para el funcionamiento de un engranaje diferencial para una instalación de obtención de energía, en particular para un aerogenerador, con tres accionamientos de entrada o salida, en el que un primer accionamiento de entrada está conectado con un árbol de accionamiento de la instalación de obtención de energía, un accionamiento de salida está conectado con un generador (8) conectable con una red (10) y un segundo
- 5 accionamiento de entrada está conectado con una máquina eléctrica (6) como accionamiento de diferencial, **caracterizado porque** se conmuta de un modo de funcionamiento en el que el generador (8) está separado de la red (10), el accionamiento de diferencial (6) está conectado con la red (10) y la relación de transmisión del engranaje diferencial (3) está fijada a 1, a otro modo de funcionamiento en el que tanto el generador (8) como también el accionamiento de diferencial (6) están conectados con la red (10), de manera que en primer lugar la potencia de la
- 10 instalación de obtención de energía se regula a cero, a continuación la fijación de la relación de transmisión del engranaje diferencial (3) se eleva a 1, luego el generador (8) se sincroniza con la red mediante el accionamiento de diferencial (6), a continuación el generador (8) se conecta con la red (10) y finalmente la potencia de la instalación de obtención de energía se aumenta de nuevo.

Fig. 4

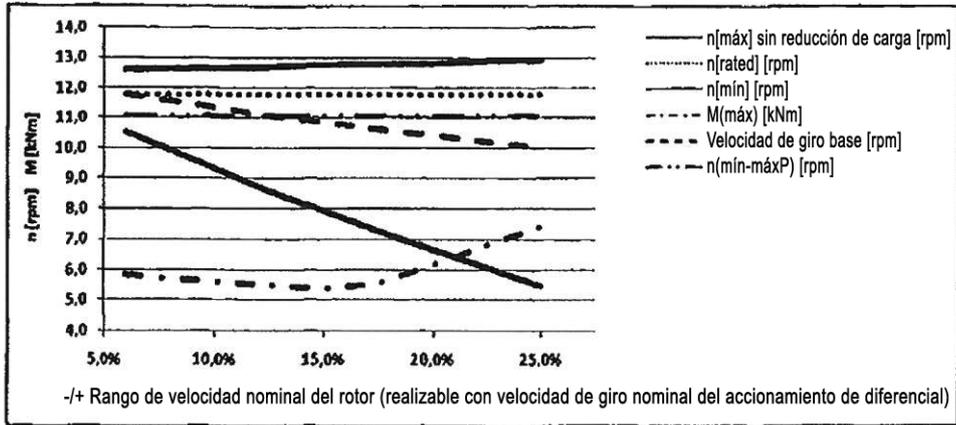


Fig. 5

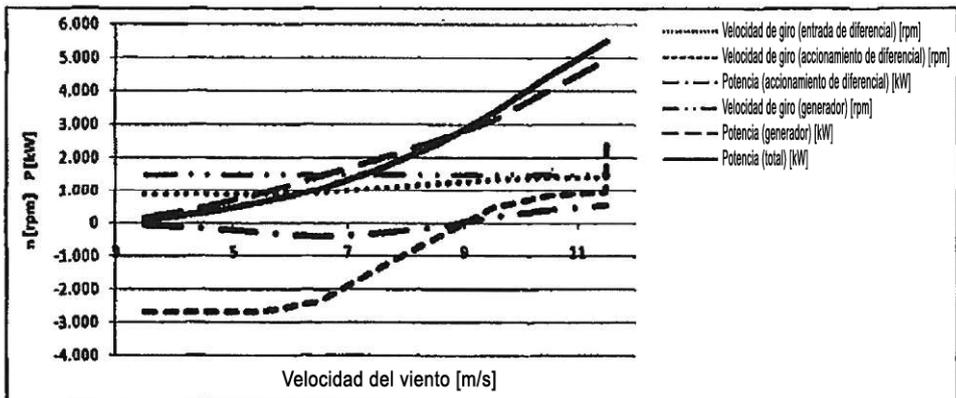


Fig. 6

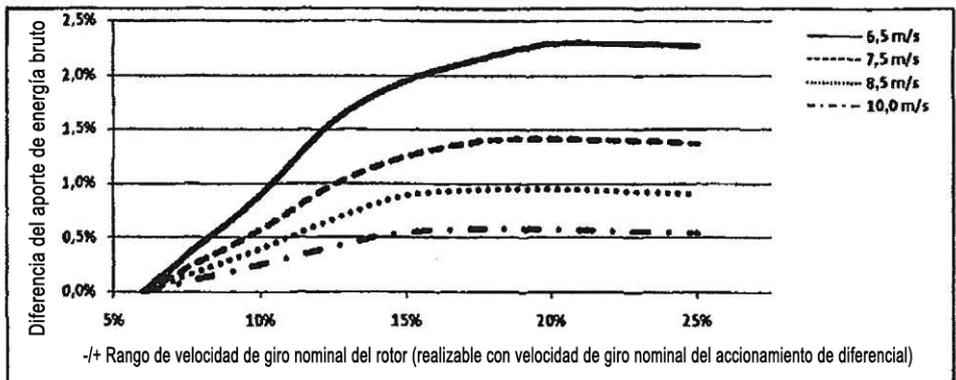


Fig. 7

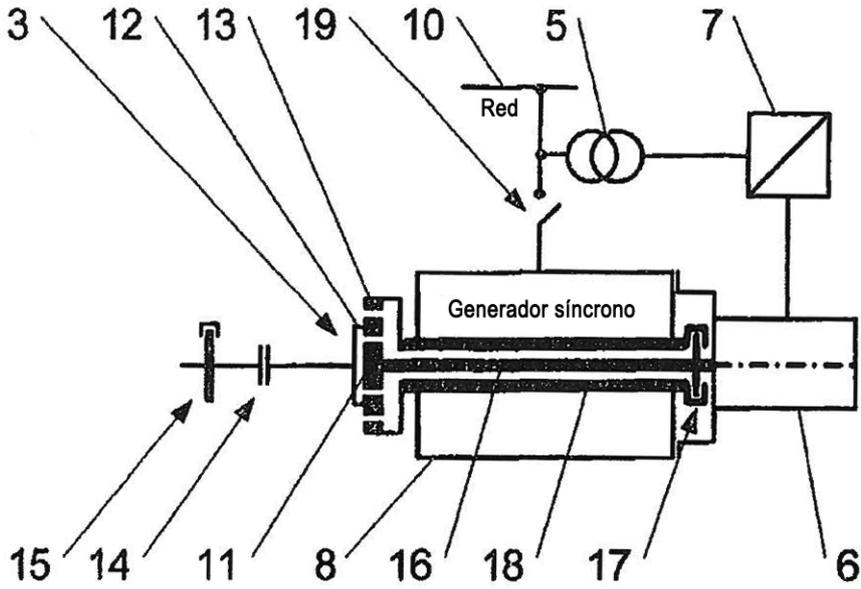


Fig. 8

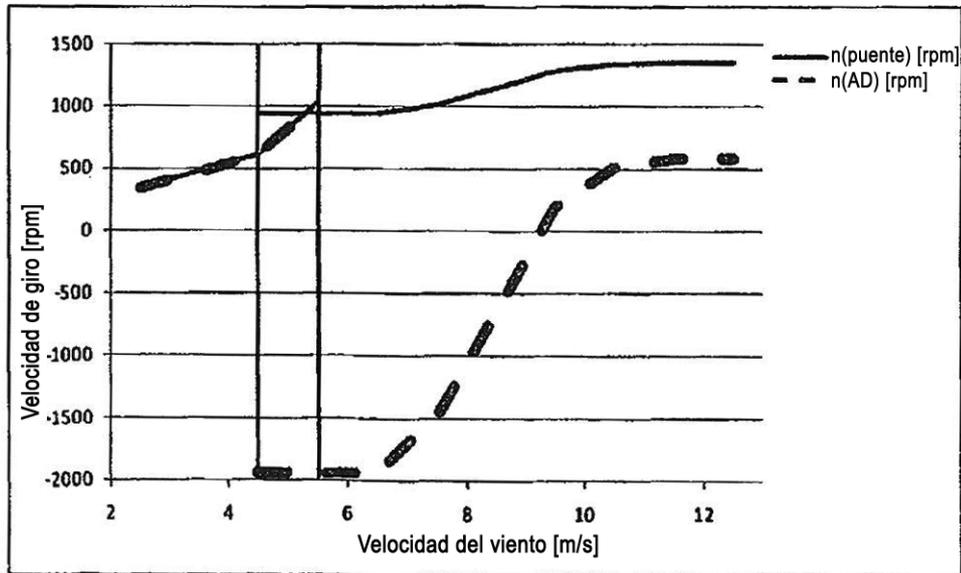


Fig. 9

