



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 349 702**

51 Int. Cl.:
F03D 9/00 (2006.01)
H02P 9/30 (2006.01)
H02P 9/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02701404 .2**
96 Fecha de presentación : **04.02.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1362184**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.11.2003**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de regulación de una central eléctrica eólica.**

30 Prioridad: **23.02.2001 FR 01 02519**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.01.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.01.2011

73 Titular/es: **JEUMONT, S.A.**
Tour Framatome
1, place de la Coupole
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es: **Milet, Yves;**
Brutsaert, Patrick y
Canini, Jean-Marc

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

ES 2 349 702 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).

PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE REGULACIÓN DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA EÓLICA.

DESCRIPCIÓN.

5 La invención se refiere a un procedimiento de regulación de los parámetros de funcionamiento de una instalación de producción de energía eléctrica, que comprende una central eléctrica eólica y un dispositivo para implementar el procedimiento de regulación.

10 Se conocen instalaciones para la producción de energía eléctrica, a partir de energía eólica, que comprenden un alternador, cuyo rotor es arrastrado por medio de una parte giratoria de una central eléctrica eólica, que comprende un cubo y palas que están fijadas sobre el cubo.

15 En particular han sido propuestas centrales eléctricas eólicas, cuya parte giratoria está conectada directamente con el rotor del alternador, sin transmisión mecánica intermedia. Tales centrales eléctricas eólicas presentan la ventaja de una mayor simplicidad mecánica, estando montado el conjunto rotativo, que comprende la parte giratoria de la central eléctrica eólica solidaria con el rotor del alternador, sobre la estructura de la central eléctrica eólica por intermedio de, al menos, un palier que puede estar constituido por un solo rodamiento, en un modo de realización
20 ventajoso.

25 Por otra parte, la supresión de elementos mecánicos, tales como reductores, que comprenden engranajes, se traduce en una disminución de los costes de construcción y de mantenimiento de la central eléctrica eólica. De la misma manera, se evitan riesgos de averías y de deterioros de ciertas partes de la central eléctrica eólica, por ejemplo por agarrotamiento de la piñonería de un reductor. Sin embargo, los inconvenientes de una conexión directa entre la parte giratoria de la central eléctrica eólica y el rotor del alternador consisten en que el alternador debe poder
30 funcionar de manera satisfactoria a baja velocidad de rotación y en que las condiciones atmosféricas variables, en las que funciona la central eléctrica eólica, en particular la velocidad del viento, pueden entrañar variaciones de los parámetros eléctricos de la corriente suministrada por la central eléctrica eólica a un red eléctrica, siendo estas variaciones por regla general inaceptables.

- 2 -

Una forma de realización particularmente ventajosa del alternador de una central eléctrica eólica, utilizada para la producción de corriente eléctrica, utiliza un rotor de alternador que comprende imanes permanentes que están dispuestos por regla general en un campo giratorio de dirección axial, producido por los bobinados de un estator, que está dispuesto frente al rotor. El alternador presenta, por regla general, una forma discoidal, estando distribuidos los imanes del rotor y los bobinados del estator circunferencialmente sobre superficies en forma de discos.

Se ha propuesto en la publicación FR-97 02808, depositada por las sociedades JEU-MONT INDUSTRIE y FRAMATOME, la utilización para la producción de energía eléctrica para una central eléctrica eólica, de un alternador discoidal de este tipo, cuyas ventajas han sido ya indicadas en la descripción de la solicitud de patente.

Con el fin de obtener una corriente eléctrica estable y de calidad sobre la red, que es alimentada por la central eléctrica eólica, se ha propuesto en esta solicitud de patente, de la misma manera, asociar con el alternador un sistema electrónico de potencia que comprende un primer convertidor corriente alterna-corriente continua, tal como un rectificador, y un segundo convertidor corriente continua-corriente alterna, tal como un ondulator, destinados a proporcionar una corriente alterna estable y de calidad a la red, que es alimentada por la central eléctrica eólica.

La conversión de la corriente alterna producida por el alternador de la central eléctrica eólica en corriente continua y la conversión de la corriente continua obtenida, en corriente alterna, permite en efecto vencer variaciones de funcionamiento de la central eléctrica eólica debidas a las variaciones atmosféricas y proporcionar a la red una corriente de frecuencia perfectamente constante (por ejemplo 50 Hz), con un control muy bueno de la tensión y del factor de potencia de la corriente suministrada.

Sin embargo, en esta solicitud de patente, no se había descrito el medio que permitiese realizar una regulación de todos los parámetros del funcionamiento de la central eléctrica eólica, independientemente de que estos parámetros sean relativos al funcionamiento eléctrico del alternador o que estén constituidos por la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica.

Un primer problema, que se plantea en el ámbito de la explotación de las

centrales eléctricas eólicas se refiere a la protección del conjunto rotativo que comprende las palas y el cubo de la central eléctrica eólica, cuando el viento es demasiado fuerte y alcanza velocidades susceptibles de entrañar un embalamiento de la central eléctrica eólica y un deterioro del conjunto rotativo y/o de los palieres de este conjunto rotativo.

Las centrales eléctricas eólicas deben ser realizadas con el fin de asegurar un desenganche de la parte giratoria, cuando la velocidad del viento sobrepase un cierto nivel; la productividad de las palas del conjunto rotativo se vuelve entonces muy baja y se evita el embalamiento.

En la zona de desenganche, se compensa el aumento de potencia del viento por medio de una disminución de la productividad de las palas; la potencia es por lo tanto, groseramente constante.

Se obtiene un desenganche automático para una cierta velocidad del viento, por medio del perfil de las palas del conjunto rotativo y de una velocidad de rotación impuesta a este conjunto rotativo. Tales sistemas de desenganche automático pueden ser designados por el término inglés "stall" (calado) y comprende, por regla general, un conjunto rotativo, cuyas palas están montadas fijamente sobre el cubo.

Otros sistemas, que se designan por regla general por el término inglés "pitch" (cabeceo), utilizan un conjunto rotativo, cuyas palas están montadas giratoriamente sobre el cubo alrededor de un eje perpendicular al eje de rotación del conjunto rotativo, por regla general por intermedio de un rodamiento, que asegura el montaje rotativo del pie de la pala, comprendiendo el dispositivo así mismo medios mecánicos que aseguran el reglaje del ángulo de calaje de la pala sobre el cubo. Estos medios mecánicos son accionados, por regla general, con el fin de regular de forma continua el ángulo de calaje de la pala, durante el funcionamiento de la central eléctrica eólica. En el caso de un viento, cuya velocidad sobrepase una velocidad límite prevista, el sistema asegura el desenganche del conjunto rotativo.

El sistema "stall" presenta el inconveniente de estar definitivamente reglado, cuando se ha asegurado el montaje de las palas sobre el cubo del conjunto rotativo, efectuándose siempre el desenganche para una velocidad de viento predeterminada.

En efecto, el reglaje de la central eléctrica eólica se realiza de manera que el conjunto rotativo gire a una velocidad nominal que se combina con la velocidad del

viento para provocar el desenganche en condiciones que no pueden ser cambiadas más que cuando se modifica el montaje de las palas sobre el cubo, para hacer variar el ángulo de calaje por pivotamiento de las palas alrededor de su eje longitudinal. Esta operación de cambio del ángulo de calaje de las palas debe ser realizada de
5 manera manual y necesita una parada de la central eléctrica eólica durante un tiempo que puede ser relativamente prolongado y la intervención de personal encargado de esta operación, sobre la parte giratoria de la central eléctrica eólica.

Independientemente de los problemas debidos al desenganche para viento fuerte, es deseable adaptar el ángulo de calaje de las palas a las condiciones
10 climáticas, con el fin de recuperar del mejor modo posible la energía del viento. Una adaptación de este tipo debe ser realizada en función de las variaciones climáticas y, en particular, es necesario modificar el calaje de las palas para pasar desde un funcionamiento para tiempo caliente (verano) a un funcionamiento para tiempo frío (invierno).

15 En efecto, en invierno el aire frío es más denso que en verano cuando el aire es más caliente y más ligero. Por lo tanto, el viento es más energético durante el invierno de forma que es deseable modificar el calaje de las palas de las centrales eléctricas eólicas con el cambio de estación. Tales operaciones son pesadas y se traducen en pérdidas de explotación en cuanto al suministro y a la venta de corriente
20 eléctrica. Por lo tanto, puede preverse no llevar a cabo la modificación del calaje de las palas pero, en este caso, la central eléctrica eólica debe ser dimensionada para el funcionamiento en período de invierno, lo que entraña una pérdida de explotación en período de verano.

Es usual prever dos modos diferentes de acoplamiento del generador
25 eléctrico, que permitan funcionar con dos velocidades nominales diferentes de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica.

Sin embargo, cada una de estas dos velocidades de funcionamiento no está adaptada más que a una velocidad del viento y, fuera de estas condiciones ideales, el rendimiento energético de la central eléctrica eólica se degrada en una proporción
30 tanto mayor cuanto más se aleje de las condiciones de funcionamiento ideales.

Otro inconveniente de las centrales eléctricas eólicas, cuyas palas tienen un calaje fijo y que funcionan según el sistema "stall" a velocidad fija, consiste en que

- 5 -

es necesario alcanzar la velocidad de rotación nominal de la central eléctrica eólica antes de conectarla al generador con la red para evitar una conexión en condiciones inaceptables para la red. Por lo tanto, es necesario alcanzar un nivel suficiente de potencia para comenzar a explotar la central eléctrica eólica para el suministro de corriente.

Los sistemas de tipo "pitch", en los cuales las palas están montadas con un ángulo de calaje regulable en continuo sobre el cubo, presentan ventajas apreciables con relación al dispositivo que funciona según el sistema "stall", a velocidad fija. Estos sistemas permiten, en particular, funcionar a velocidad fija o a velocidad variable y realizar un acoplamiento con la red para velocidades pequeñas del viento. Sin embargo, tales sistemas son extremadamente frágiles como consecuencia del montaje de las palas por intermedio de un rodamiento y debido a la utilización de una cadena de regulación del ángulo de calaje. Se produce una concentración de los esfuerzos sobre las palas, al nivel del rodamiento y debido a que los ángulos de rotación de las palas, que son necesarios para el calaje son, por regla general, pequeños, las pistas de rodamiento sufren un marcado en su zona de contacto con los elementos de rodamiento.

La cadena de regulación del ángulo de calaje debe comprender un medio de accionamiento del desplazamiento de las palas, que puede ser de tipo hidráulico, eléctrico o electromecánico. Tales accionamientos presentan una dinámica, que se traduce en una acción relativamente lenta de la cadena de regulación. Por lo tanto, la orientación de las palas no se encuentra siempre en el valor ideal necesario para las condiciones de funcionamiento. Por este motivo, en ciertas fases, no se recupera suficiente energía o, por el contrario, se recupera una energía demasiado importante, lo que entraña inconvenientes en el funcionamiento de las transmisiones mecánicas o eléctricas de la potencia.

Los conjuntos rotativos de las centrales eléctricas eólicas deben estar realizados, por otra parte, de tal manera, que se pueda asegurar un frenado complementario de la central eléctrica eólica, por ejemplo para una parada normal o para una parada accidental, en combinación con un sistema de frenado mecánico, que está dispuesto sobre el árbol de la parte giratoria. Por lo tanto, la parte giratoria debe comprender un dispositivo de frenado, por regla general de tipo aerodinámico.

- 6 -

En el caso de un sistema "stall" con velocidad fija, se prevé un elemento de frenado en la extremidad libre de las palas que está orientado con el fin de asegurar un frenado aerodinámico.

5 En el caso de un sistema "pitch", el frenado puede ser realizado por medio de la colocación en forma de bandera de las palas, por intermedio de la cadena de reglaje del ángulo de calaje.

En uno y otro caso, cuando aparece sobre la red una microinterrupción, es decir una interrupción de duración típicamente menor que un segundo de la circulación de la corriente eléctrica, se debe accionar la parada de la central eléctrica eólica, por frenado, para evitar cualquier riesgo de deterioro del generador eléctrico. Después de la parada, es necesario prever un procedimiento de nueva puesta en marcha, aún cuando este modo de funcionamiento con parada de la central eléctrica eólica se traduzca en una pérdida de producción y en una fatiga de los elementos mecánicos de la central eléctrica eólica y, en particular, del freno mecánico, que es
10
15 utilizado para la parada, y de las palas.

Las redes eléctricas aseguran la distribución de corriente a usuarios, que necesitan que la tensión y la frecuencia de la corriente suministrada sean tan constantes como sea posible, dependiendo esta tensión y frecuencia de la velocidad de rotación del generador y, por lo tanto, de la central eléctrica eólica, en el caso de
20 una red, que es alimentada por una central eléctrica eólica.

En el caso en que sea necesario suministrar una central eléctrica eólica para una red que utilice una frecuencia diferente a la de una frecuencia habitual (por ejemplo 60 Hz en lugar de 50 Hz), es necesario modificar el generador (y eventualmente un multiplicador) para adaptarlos a la frecuencia requerida.

25 En el caso de una red, cuya frecuencia no sea estable y que varíe con relación a la frecuencia nominal prevista, es necesario adaptar el funcionamiento de la central eléctrica eólica.

Si la frecuencia requerida sobre la red es mayor que la frecuencia prevista, la velocidad de rotación de la central eléctrica eólica debe aumentar y, en consecuencia,
30 la potencia suministrada aumenta.

Si la frecuencia requerida sobre la red disminuye, la velocidad de rotación de la central eléctrica eólica disminuye y, por lo tanto, la potencia suministrada

disminuye.

Por lo tanto, no se controla perfectamente la potencia de la central eléctrica eólica y esto debido a que es necesario prever un sobredimensionamiento de la central eléctrica eólica para enfrentarse a todas las demandas, lo que entraña un
5 sobrecoste.

Por último, el conjunto rotativo de la central eléctrica eólica no gira a velocidad perfectamente constante y sufre variaciones periódicas, debido al paso de las palas del conjunto rotativo por delante del mástil que soporta la barquilla sobre la cual está montado el conjunto rotativo. Por lo tanto, el generador de corriente no gira
10 a una velocidad perfectamente regulada, que asegure un funcionamiento perfectamente estable y constante.

Otro ejemplo del procedimiento y del dispositivo de regulación según el estado de la técnica, se ha descrito en el documento WO-A-0036298.

Por lo tanto, el objeto de la invención consiste en proponer un procedimiento
15 de regulación de una instalación de producción de energía eléctrica según la reivindicación 1 y que comprende un alternador eléctrico, que tiene un rotor solidario con la parte giratoria de una central eléctrica eólica, para constituir un conjunto rotativo, y un sistema electrónico de potencia, que comprende un medio de conversión de la corriente alterna producida por el alternador, en corriente continua,
20 permitiendo este procedimiento remediar los diversos inconvenientes de los sistemas anteriores, que han sido descritos más arriba.

Con esta finalidad, se regulan las características eléctricas (intensidad, tensión, desfase intensidad/tensión y frecuencia) de la corriente eléctrica producida por el alternador y la velocidad de rotación del conjunto rotativo, con ayuda de la
25 modulación de la corriente continua producida por el medio de conversión del sistema electrónico de potencia a partir de la corriente eléctrica producida por el alternador.

De manera preferente:

- en una primera fase de funcionamiento de la instalación de producción de
30 energía eléctrica, para velocidades pequeñas del viento, se hace crecer la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, con el fin de que la velocidad de rotación pase progresivamente desde un valor

pequeño de puesta en marcha hasta un valor máximo, siendo creciente el par sobre el rotor, según una ley de variación velocidad/par predeterminada;

- según un primer modo de implementación de la invención, en una segunda fase, cuando la velocidad del viento es mayor que un primer valor de umbral, se regula la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica a un valor máximo fijo, o valor nominal, que permite obtener una recuperación de potencia óptima de la central eléctrica eólica;
- en este caso, de manera preferente, se fija el valor nominal de la velocidad de rotación a un valor tomado entre, al menos, dos valores, en función de condiciones climáticas en la ubicación de la central eléctrica eólica y, en particular, a un primer valor en período de verano y a un segundo valor en período de invierno;
- según un segundo modo de implementación de la invención, en una segunda fase de funcionamiento de la central eléctrica eólica, cuando la velocidad del viento es mayor que un segundo valor de umbral, se regula la velocidad máxima de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, con el fin de mantener la potencia de la central eléctrica eólica a un valor fijo y, de manera preferente, al valor máximo de la potencia aceptable para la central eléctrica eólica;
- en este caso, de manera preferente, cuando el valor de la velocidad del viento es menor que el segundo valor de umbral, se hace crecer la velocidad de rotación del conjunto rotativo, de manera progresiva y regulada y se registran las variaciones del valor de la velocidad de rotación, con el fin de utilizar posteriormente la curva de variación de la velocidad de rotación para controlar el aumento de velocidad del conjunto rotativo.

De la misma manera, la invención se refiere a un dispositivo de regulación, descrito en la reivindicación 17, y que está constituido por un sistema electrónico de potencia y por una unidad de regulación y de accionamiento, que permite implementar el procedimiento de regulación de conformidad con la invención.

- 30 Con el fin de que pueda comprenderse perfectamente la invención, se describe ahora, a título de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas en el anexo, una central eléctrica eólica de producción de energía eléctrica y la implementación

de un procedimiento de regulación de conformidad con la invención en diversos casos de funcionamiento de la central eléctrica eólica.

5 La figura 1 es una vista esquemática en sección por un plano vertical de la barquilla de una central eléctrica eólica de producción de energía eléctrica.

La figura 2 es una vista esquemática de la parte eléctrica de la central eléctrica eólica que comprende, en particular, un sistema electrónico de potencia.

10 Las figuras 3A, 3B y 3C son diagramas de funcionamiento de una central eléctrica eólica con sistema "pitch" para tres velocidades diferentes del viento.

15 Las figuras 4A, 4B y 4C son diagramas de funcionamiento de una central eléctrica eólica que implementa el procedimiento de regulación de conformidad con la invención, para tres velocidades diferentes del viento.

La figura 5 es una vista esquemática del conjunto rotativo de una central eléctrica eólica y del diagrama de funcionamiento de una central eléctrica eólica que implementa el procedimiento de conformidad con la invención.

20 La figura 6 es un diagrama que muestra las variaciones del coeficiente de productividad de una pala de central eléctrica eólica en función del ángulo de incidencia de la resultante de la velocidad del viento y de la velocidad de rotación de la pala.

25 La figura 7 es un diagrama que indica la potencia suministrada por la central eléctrica eólica en función de la velocidad del viento para diferentes velocidades de rotación de la parte giratoria.

30 En la figura 1, se ve la barquilla de una central eléctrica eólica designada de manera general con la referencia 1, que está montada de manera rotativa, por intermedio de un palier con rodamiento 2, de eje vertical, sobre la parte superior del mástil 3 de la central eléctrica eólica.

Una antena 4 que porta una veleta permite accionar un motor de orientación de la barquilla 1 de la central eléctrica eólica, alrededor del eje vertical del mástil 3

para orientarla con relación a la dirección del viento, en cada instante.

La barquilla 1 de la central eléctrica eólica porta el conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, que comprende en particular un cubo 5, sobre el cual están fijadas de manera rígida tres palas 6, que presentan una sección perfilada.

5 La parte giratoria de la central eléctrica eólica, que comprende el cubo 5 y las palas 6, asegura la puesta en rotación del rotor 8 de un generador de corriente eléctrica 7, que comprende un estator 9, que está fijado sobre una parte de la estructura 10 de la barquilla 1, solidaria con una plataforma, que está montada de manera rotativa sobre la extremidad del mástil 3, por intermedio del palier horizontal
10 2.

El rotor 8 y el estator 9 del alternador 7 están realizados en una forma discoidal, comprendiendo el rotor 8 dos elementos de rotor colocados a uno y otro lado del estator, comprendiendo cada uno de los elementos del rotor una cara activa, en forma de disco, que porta imanes, que están distribuidos según la circunferencia
15 del disco. El estator 9 comprende dos elementos de estator, cada uno de los cuales comprende una cara discoidal, sobre la que están fijadas bobinas distribuidas circunferencialmente, estando dirigida cada cara discoidal de un elemento de estator hacia la cara correspondiente discoidal dotada con imanes permanentes de un elemento del rotor 8.

20 De manera típica, cada uno de los discos del rotor puede comprender noventa imanes distribuidos circunferencialmente.

El conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, que comprende la parte giratoria de la central eléctrica eólica y el rotor 8 del alternador 7, está montado de manera rotativa sobre la estructura fija 10 de la barquilla 1, por intermedio de un solo
25 palier con rodamiento 11 que tiene un eje ligeramente inclinado con relación a la dirección horizontal.

Los bobinados del estator 9 están conectados eléctricamente con medios de conexión, que permiten enviar la corriente suministrada por la central eléctrica eólica a una red de utilización, por intermedio de un sistema electrónico de potencia que
30 puede estar dispuesto, al menos en parte, en el interior de la barquilla 1.

En la figura 2, se ha representado de manera esquemática, el sistema electrónico de potencia designado de manera general por la referencia 12 y que

permite recuperar la corriente eléctrica producida a la salida del alternador 7, cuyo rotor 8 es arrastrado en rotación por la parte giratoria 5, 6 de la central eléctrica eólica y permite suministrar a una red eléctrica de utilización 13 una corriente eléctrica alterna, por intermedio de un transformador 14.

5 La corriente producida por el alternador 7 y la corriente suministrada a la red son corrientes alternas trifásicas.

Cada una de las fases de salida del alternador 7 está conectada con la entrada del sistema electrónico de potencia y cada una de las fases de la corriente trifásica a la salida del sistema electrónico de potencia está conectada con la entrada del
10 transformador 14.

El sistema electrónico de potencia, designado de manera general por la referencia 12, comprende sucesivamente un rectificador 15, que asegura la conversión de la corriente alterna producida por el alternador en corriente continua, un interruptor periódico reostático 16 y un ondulator 17.

15 El rectificador 15 y el ondulator 17 están conectados entre sí por un bus 18 de corriente continua que une la salida del rectificador 15 con la entrada del ondulator 17. El interruptor periódico reostático 16 está montado en paralelo sobre el bus 18, entre el rectificador 15 y el ondulator 17.

El rectificador 15 es un rectificador con modulación de anchura de impulsos
20 (MLI), que permite modular la anchura de los impulsos de corriente continua producida a partir de la corriente alterna del alternador 7, siendo constante el período de los impulsos de corriente continua y siendo igual, por ejemplo, a 1.000 Hz.

El rectificador 15 comprende tres etapas de tratamiento cada una de las cuales está conectada con una fase del alternador 7 y cada una de las cuales comprende dos
25 transistores IGBT (transistor bipolar con gacheta aislada), estando accionado cada uno de los transistores IGBT con el fin de asegurar o de impedir el paso de la corriente de las diferentes alternancias de las tres fases de la corriente alterna del alternador 7.

En la figura 2, se ha representado una unidad 20 de regulación y de
30 accionamiento numérico que permite pilotar cada uno de los transistores IGBT del rectificador MLI 15. Se ha representado, bajo la forma de la flecha 21, el conjunto de accionamientos de los transistores del rectificador 15 con modulación de anchura de

impulsos.

El ondulator 17 está conectado de una forma análoga con el rectificador 15 y presenta una disposición de sus componentes inversa a la del rectificador 15, de tal manera que puede transformar una corriente continua por impulsos modulados en un
5 corriente alterna trifásica, que presenta una tensión y una frecuencia perfectamente controladas, y de forma que se puede suministrar así a la red 13, por intermedio del transformador 14, una corriente alterna trifásica que presenta una tensión y una frecuencia perfectamente fijas, siendo esta frecuencia, por ejemplo, de 50 Hz para una distribución sobre la red francesa.

10 El ondulator 17 es accionado por el módulo de regulación y de accionamiento numérico 20, como se ha esquematizado por medio de la flecha 22.

El módulo de regulación y de accionamiento 20 recibe como dato de entrada que procede del alternador 7 (entrada simbolizada por la línea de conexión 23) la intensidad I y la tensión U de la corriente eléctrica en cada una de las fases a la salida
15 del alternador 7 así como la velocidad de rotación ω del rotor del alternador, que es medida por medio de un dispositivo de medición de la rotación de tipo conocido.

Las medidas llegan al módulo de regulación y de accionamiento 20 bajo la forma de señales. Debe indicarse que la velocidad de rotación ω del rotor es igualmente la velocidad de rotación de la parte giratoria 5, 6 de la central eléctrica
20 eólica.

El módulo de regulación y de accionamiento 20 recibe así mismo, como se ha esquematizado por medio de la flecha 24, una señal representativa de la tensión continua en el bus 18.

Sobre cada una de las fases a la salida del ondulator 17 está dispuesto un
25 medio 26 de medida de la intensidad de la corriente de la fase correspondiente y, de la misma manera, está dispuesto un transformador 27 de medida de la tensión de la corriente trifásica entre dos fases a la salida del ondulator 17.

Las señales de intensidad y de tensión correspondientes son transmitidas al módulo de regulación y de accionamiento 20, como se ha esquematizado por medio
30 de la línea de conexión 25.

El módulo de regulación y de accionamiento 20 está conectado así mismo con el interruptor periódico reostático 16 para asegurar el accionamiento del interruptor

periódico reostático, como se ha indicado por medio de la línea de conexión y de la flecha 28.

De manera general, a partir de las señales de medida de la tensión U de la corriente producida por el alternador y de las señales de las corrientes I en cada una de las fases, así como a partir de una señal representativa de la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, que comprende el rotor 8 del alternador 7, el módulo de regulación y de accionamiento numérico 20 asegura una modulación de la corriente continua por impulsos producidos en el rectificador MLI 15.

10 Como se ha indicado más arriba, esta modulación consiste en regular la anchura de los impulsos de corriente continua, cuya frecuencia permanece fija e igual, por ejemplo, a 1.000 Hz.

Esta modulación de la anchura de los impulsos de corriente continua, producida en el rectificador, permite, por reacción, regular las amplitudes de las intensidades y de la tensión de la corriente producida por el alternador, así como el desfase ϕ de la tensión U con relación a la intensidad I de la corriente.

De este modo pueden ser regulados, por medio de la modulación de la corriente continua, que es producida por el rectificador, los parámetros de funcionamiento eléctrico del alternador 7, bien para obtener un funcionamiento eléctrico ideal del alternador 7, o bien para regular la velocidad de rotación ω del conjunto giratorio de la central eléctrica eólica, que comprende el rotor del alternador 7, por intermedio del par resistente del alternador.

El ondulator, que está accionado por la unidad de regulación y de accionamiento 20, que recibe una señal representativa de las intensidades y de las tensiones de la corriente a la salida del ondulator 17, permite regular, por medio de la modulación de la anchura de los impulsos, la corriente alterna trifásica a la salida del ondulator 17.

Debe indicarse que la transformación de la corriente alterna, producida por el alternador 7, en corriente continua, en el rectificador 15, y que la conversión ulterior de la corriente continua en corriente alterna, en el ondulator 17, permite dissociar por completo las condiciones de producción de la corriente alterna a la salida del alternador, que depende de la velocidad de la central eléctrica eólica, de las

- 14 -

condiciones de producción de la corriente alterna a la salida del ondulator, que se vuelven completamente independientes de la velocidad de rotación de la parte giratoria de la central eléctrica eólica. De este modo, puede proporcionarse a la red, por intermedio del transformador 14, una corriente eléctrica bajo una tensión y una
5 frecuencia perfectamente fijas, siendo la tensión y la frecuencia de la corriente producida por el alternador, por el contrario, esencialmente variable en función de del viento que arrastra a la central eléctrica eólica.

La medida de la tensión U y de la intensidad I, a la salida del alternador 7, permite obtener las fluctuaciones en el transcurso del tiempo de la potencia
10 suministrada por el alternador. Estas fluctuaciones pueden ser utilizadas, en la unidad de accionamiento 20, para anticipar el accionamiento del ondulator 17, con el fin de limitar las fluctuaciones de la tensión en el bus continuo 18.

Las señales relativas a los parámetros de la corriente alterna trifásica, suministrada a la red de utilización 13 y transmitida a la unidad de regulación y de
15 accionamiento 20 por la línea de conexión 25, permiten así mismo tratar de anticipar el reglaje del interruptor periódico, en función de perturbaciones de la corriente en la red.

La tensión en el bus continuo 18 es medida y transmitida a la unidad de regulación y de accionamiento bajo la forma de una señal, que permite a la unidad 20
20 accionar al interruptor periódico reostático 16, con el fin de regular la transmisión de la corriente continua al ondulator 17.

En el caso en que la corriente ya no sea evacuada de manera regular por la red a la salida del ondulator 17, la tensión aumenta en el bus continuo 18 y la unidad de regulación 20 acciona al interruptor periódico reostático 16, con el fin de cortar la
25 corriente producida y de no dejar pasar más que una parte de la corriente continua, siendo derivada la corriente residual sobre el reóstato 29 del interruptor periódico reostático 16. De este modo se absorbe la energía en exceso, producida por la central eléctrica eólica, durante un fallo de la red. Este reglaje puede ser anticipado merced a las medidas efectuadas a la salida del ondulator 17 y transmitidas a la unidad de
30 regulación y de accionamiento 20.

En el curso de su funcionamiento, la central eléctrica eólica es pilotada según dos fases sucesivas distintas de reglaje, en función de la velocidad de rotación del

conjunto rotativo de la central eléctrica eólica que es función, a su vez, de la velocidad del viento.

Para las velocidades bajas del viento, hasta las proximidades de una velocidad máxima o velocidad nominal, es decir desde la velocidad de puesta en marcha de la central eléctrica eólica para la producción de energía eléctrica, pudiendo ser esta
5 velocidad muy pequeña, hasta una velocidad del viento que arrastre al conjunto rotativo a la velocidad nominal (definida por una potencia dada, por ejemplo 25 vueltas/minuto), se regulan los parámetros eléctricos del alternador y, por su intermedio, la velocidad de rotación del rotor y del conjunto rotativo y el par sobre el
10 rotor, de manera que los puntos de funcionamiento se sitúen sobre una curva par-velocidad perfectamente definida. Esta curva presenta sensiblemente la forma de una recta de pequeña pendiente, aumentando el par muy poco desde las velocidades más bajas de rotación hasta la velocidad máxima.

La velocidad de rotación del conjunto rotativo, que comprende el rotor del alternador, puede ser regulada fácilmente a partir del par resistente impuesto por el
15 alternador, que depende, a su vez, de los parámetros eléctricos de la corriente a la salida del alternador, estando regulados estos parámetros por modulación del rectificador.

Ahora se mostrará el modo en que el control de la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica permite hacer funcionar a la central eléctrica eólica, durante esta primera fase, de manera óptima con una transmisión de
20 energía máxima, en función de la velocidad del viento.

A título comparativo, se han representado en las figuras 3A, 3B y 3C los diagramas de velocidad según el perfil de una pala 6' de una central eléctrica eólica según el arte anterior, que comprende un conjunto rotativo, cuyas palas comprenden
25 un medio de reglaje continuo del ángulo de calaje.

En las figuras 4A, 4B y 4C, se han representado los diagramas correspondientes en el caso de una pala 6 montada fija sobre la parte rotativa de la central eléctrica eólica, que es regulada por el procedimiento de la invención.

30 En las figuras 3A, 3B y 3C así como en las figuras 4A, 4B y 4C, los vectores V_1 , V_2 y V_3 representan la velocidad del viento a la que está sometida la central eléctrica eólica en el transcurso de tres fases de utilización, correspondiendo V_1 a un

- 16 -

viento medio, correspondiendo V_2 a un viento fuerte y correspondiendo V_3 a un viento débil.

Los vectores ωR en las figuras 3A, 3B y 3C representan la velocidad lineal de una pala a una distancia R del eje de rotación, o radio, para una velocidad de rotación ω del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, estando regulada esta velocidad de rotación ω a un valor constante e igual a la velocidad nominal de funcionamiento de la central eléctrica eólica (para una potencia dada), independientemente de la velocidad del viento.

En las figuras 4A, 4B y 4C, los vectores $\omega_1 R$, $\omega_2 R$ y $\omega_3 R$ representan las velocidades lineales de las palas de la central eléctrica eólica regulada según el procedimiento de la invención, en el transcurso de tres fases con viento medio, fuerte y débil, estando moduladas las velocidades de rotación ω_1 , ω_2 y ω_3 por accionamiento del rectificador MLI del sistema electrónico de potencia, como se ha explicado más arriba.

Los vectores W_1 , W_2 y W_3 representan, tanto en las figuras 3A, 3B y 3C así como en las figuras 4A, 4B y 4C, la resultante de las velocidades del viento y de las palas del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, en el transcurso de las tres fases consideradas.

Así mismo se han representado, sobre el conjunto de los diagramas, la dirección longitudinal L de la sección de la pala 6 o 6', la resultante de la velocidad del viento y de la pala en rotación que forma con la dirección longitudinal L de la sección de la pala 6 o 6', un ángulo de incidencia i en función del cual varía la productividad $f = C_z/C_x$ de la pala considerada, como se ha representado en la figura 6. Debido a que las palas están torcidas, el ángulo (α_1 , α_2 , α_3 o α) entre la dirección longitudinal L de la pala y el vector velocidad de la pala varía a lo largo de la pala. Por lo tanto, el ángulo de incidencia no es constante según la longitud de la pala.

En la figura 6 se ve que la curva 30, que representa las variaciones de la productividad $f = C_z/C_x$ de la pala de una central eléctrica eólica en función del ángulo de incidencia i , aumenta en primer lugar cuando i es creciente hasta un valor i óptimo, para el cual la productividad del álabe alcance un máximo. La productividad del álabe decrece a continuación, cuando i aumenta, en primer lugar de manera

moderada y a continuación muy rápidamente, en una zona 31, que corresponde a una zona de desenganche de la parte giratoria de la central eléctrica eólica, cayendo la potencia suministrada por la central eléctrica eólica hasta un valor muy pequeño, o incluso prácticamente nulo.

- 5 Por lo tanto, es necesario, para obtener un buen rendimiento en potencia del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, funcionar con valores del ángulo de incidencia i próximos al valor i óptimo que produce la productividad máxima de las palas.

10 En el caso de una central eléctrica eólica que funcione según el sistema "pitch" con reglaje continuo de la orientación de las palas, se obtiene un ángulo i sensiblemente constante e igual al ángulo de incidencia i óptimo independiente de la velocidad del viento (en ciertos límites) haciendo girar al álabe en un sentido o en el otro.

15 Cuando se pasa de un viento de velocidad media $V1$ a un viento de velocidad fuerte $V2$, se hace girar la pala δ' , de manera que aumenta el ángulo de la dirección longitudinal L de la pala con el vector velocidad de la pala ωR (el ángulo pasa desde el valor $\alpha1$ hasta el valor $\alpha2$), de forma que el ángulo de incidencia i permanezca constante.

20 En el caso en que se pase de un viento de velocidad media $V1$ a un viento de velocidad baja $V3$, se hace girar la pala δ' , de manera que disminuye el ángulo entre la dirección L y el vector velocidad ωR de la pala, pasando este ángulo desde el valor $\alpha1$ hasta el valor $\alpha3$, de manera que el ángulo de incidencia i permanezca prácticamente constante.

25 Se han indicado más arriba los inconvenientes de un dispositivo de este tipo en el que es necesario hacer girar las palas cuyo pie está montado de manera rotativa sobre el cubo de la central eléctrica eólica por intermedio de un rodamiento.

30 En el caso de un procedimiento de regulación de conformidad con la invención, como se ha representado en las figuras 4A, 4B y 4C, es posible regular la velocidad de rotación ω y, por lo tanto, la velocidad lineal ωR de la pala, en función de la velocidad del viento, para mantener el ángulo de incidencia i prácticamente constante e igual al valor óptimo.

En el caso en que se pase desde un viento de velocidad media $V1$ hasta un

viento de velocidad fuerte V2, se deja crecer la velocidad de la pala hasta un valor ω_{2R} que es impuesto por el par resistente del alternador, cuyos parámetros eléctricos están regulados por modulación de la corriente continua producida por el rectificador del sistema electrónico de potencia. El valor ω_{2R} de la velocidad de rotación de la pala puede ser ajustado de manera que el ángulo de incidencia i (y el ángulo α de la pala con el vector velocidad de la pala) permanezca prácticamente constante, permaneciendo el ángulo de incidencia i en su valor óptimo.

Cuando se pasa desde un viento de velocidad media V1 hasta un viento de velocidad baja V3, se hace disminuir la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica hasta un valor ω_{3R} tal que los ángulos i y α permanezcan constantes, encontrándose el ángulo i en su valor óptimo.

La disminución de la velocidad del conjunto rotativo y de la parte giratoria de la central eléctrica eólica se obtiene por regulación de los parámetros eléctricos a la salida del alternador, por modulación de la corriente continua producida por el rectificador MLI, de tal forma que se aumenta el par resistente del alternador.

En la primera fase de funcionamiento de la central eléctrica eólica, la velocidad del viento pasa desde un valor pequeño, que corresponde a la puesta en marcha de la central eléctrica eólica en producción eléctrica, hasta un valor máximo aceptable por la central eléctrica eólica, que corresponde a la velocidad nominal del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, se deja crecer la velocidad de rotación de la central eléctrica eólica con el fin de mantener el punto de funcionamiento de las palas en las proximidades del máximo de la curva de productividades de las palas. Como se ha indicado más arriba, el par sobre el rotor crece débilmente.

Cuando se alcanza la velocidad nominal de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica (por ejemplo 25 vueltas/minuto), obteniéndose este valor para un valor de umbral de la velocidad del viento, se realiza una regulación de la velocidad de rotación a un valor fijo, que es la velocidad nominal de la central eléctrica eólica, aumentando entonces el par de manera muy rápida, desde el momento en que se alcanza la velocidad nominal.

Sobre un diagrama par en función de la velocidad, esta fase se traduce en una curva de variación del par que es prácticamente paralela al eje de los pares y perpendicular al eje de las velocidades.

- 19 -

Haciendo referencia a la figura 5, sobre la que se ha representado la parte giratoria 5, 6 de una central eléctrica eólica y el diagrama de velocidad según la sección de una pala 6, se supondrá que el vector ωR corresponde a la velocidad de rotación nominal de la parte giratoria 5, 6 de la central eléctrica eólica, para la
5 velocidad del viento V.

Si la velocidad del viento aumenta más allá del valor V (por ejemplo alcanza la velocidad V4), la velocidad ωR permanece constante, el ángulo de incidencia i aumenta, hasta el valor i_d correspondiente al desenganche sobre la curva de la figura 6. De este modo se obtiene un stall a una velocidad del viento que está determinada
10 por el valor de la velocidad nominal ω . En realidad, debido a que el ángulo de incidencia i varía con el radio R, se obtiene un desenganche progresivo de la pala, cuando aumenta el viento.

Cuando se quiera cambiar la velocidad a la que se produzca el desenganche, se puede modificar la velocidad de rotación nominal ω , por ejemplo aumentando la
15 velocidad de rotación para aumentar la velocidad de desenganche o disminuyendo la velocidad de rotación para disminuir la velocidad de desenganche.

De este modo, se obtiene un stall a velocidad variable por medio de una simple modificación del accionamiento del rectificador del sistema electrónico de potencia, que está asociado con el alternador de la central eléctrica eólica.
20

Se puede hacer pasar la velocidad nominal, por ejemplo desde un valor de verano hasta un valor de invierno, sin tener que efectuar un nuevo calaje de las palas de la parte giratoria de la central eléctrica eólica.

De este modo, se puede adaptar fácilmente el stall de la central eléctrica eólica a las condiciones climáticas y, en particular, puede efectuarse un cambio de la
25 velocidad nominal del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, entre un valor de verano y un valor de invierno, o a la inversa.

En la figura 7, se ha representado un conjunto de curvas 32a, 32b, 32c, 32d, 32e, 32f, 32g, 32h, 32i, 32j, 32k, 32l, que muestran las variaciones de la potencia mecánica suministrada por la central eléctrica eólica en función de la velocidad del
30 viento que arrastra la parte giratoria de la central eléctrica eólica en rotación y para velocidades de rotación nominales impuestas respectivamente de 9; 12; 15; 18; 21; 23; 24; 24,5; 24,8; 25; 25,5 y 28 vueltas/minuto.

De la misma manera, se ha representado una curva 33, que corresponde a un reglaje optimizado de la velocidad de rotación independientemente de la velocidad del viento, para obtener un funcionamiento óptimo de la central eléctrica eólica, con una etapa con una potencia nominal de 800 kW.

5 Para obtener una potencia mecánica de la central eléctrica eólica de 800 kW (es decir la potencia disponible sobre la parte giratoria arrastrada por el viento), la figura 7 muestra que se puede fijar la velocidad nominal de rotación a 24 vueltas/minuto desde el momento en que la velocidad del viento alcance un primer umbral de 9 m/sec. Entre la velocidad de puesta en marcha de la parte giratoria y 9
10 m/s, la velocidad de rotación de la parte giratoria de la central eléctrica eólica aumenta según una curva par/velocidad perfectamente definida, con el fin de optimizar la potencia. Por encima de la velocidad del viento de 9 m/s, se regula la velocidad para mantenerla a un valor de 24 vueltas/minuto por modulación de la corriente continua obtenida a partir de la corriente producida por el alternador. La
15 potencia mecánica suministrada por la central eléctrica eólica evoluciona en función de la velocidad del viento, como se ha representado por medio de la curva 32g. Se ve que la potencia de 800 kW no se obtiene más que para dos velocidades del viento (14 y 25 m/s). Entre las velocidades de 14 y 25 m/s, la potencia se comba ligeramente, de forma que no se obtiene una etapa de potencia a 800 kW. De igual modo, en la
20 segunda fase de funcionamiento de la central eléctrica eólica, se puede regular la velocidad de rotación de la central eléctrica eólica para obtener una etapa de potencia a 800 kW. Entonces se efectúa una regulación de la potencia a velocidad de rotación variable, de manera que la potencia mecánica suministrada por la central eléctrica eólica sea constante para velocidades del viento comprendidas entre 11,5 y 25 m/s,
25 como se ha representado por la curva 33. Entre el primer umbral y el segundo umbral de la velocidad del viento (9 a 14 m/s), se hace crecer la velocidad de rotación del conjunto rotativo de manera progresiva y regulada. En efecto, esta zona es una zona de transición de enganche y de desenganche de las palas en la que se debe pilotar prudentemente la central eléctrica eólica. De manera general, se utiliza un sistema
30 lógico de pilotaje al mismo tiempo que se registran las variaciones de la velocidad de rotación para enriquecer la base de datos relativa a los aumentos hasta la potencia de 800 kW efectuados sobre el lado de la central eléctrica eólica, que dependen de las

condiciones climáticas reinantes. Estos datos son utilizados durante los aumentos de velocidad y de potencia ulteriores de la central eléctrica eólica. Por lo tanto, se obtiene una autoadaptación.

Se realiza el control de la velocidad entre los dos umbrales de la velocidad del viento con el fin de obtener un máximo de potencia. Este control se denomina control agresivo. La curva 33 corresponde al funcionamiento optimizado de la central eléctrica eólica, para todas las velocidades del viento.

Por encima del segundo umbral de la velocidad del viento (14 m/s), ya no existe riesgo de embalamiento del conjunto rotativo y se efectúa una adaptación continua de la velocidad de rotación para obtener una potencia de 800 kW.

El procedimiento, de conformidad con la invención, permite adaptar la velocidad de rotación, de manera muy flexible, por medios electrónicos.

Los parámetros eléctricos a la salida del alternador 7 están regulados de manera que el alternador presente condiciones de funcionamiento óptimas. En estas condiciones, la intensidad I de la corriente del alternador y la tensión interna o tensión en vacío E del alternador se encuentran perfectamente en fase. Por lo tanto, se regulan permanentemente las condiciones eléctricas para obtener un desfase nulo entre la intensidad y la tensión interna del alternador, por regulación del desfase intensidad-tensión, teniendo en cuenta la inductancia del alternador.

Por lo tanto, el procedimiento de conformidad con la invención permite obtener, por medio de un simple reglaje de la corriente continua, producida por el rectificador MLI, condiciones eléctricas y mecánicas ideales de funcionamiento del alternador y de la central eléctrica eólica.

En la zona de desenganche, el reglaje de la velocidad para el procedimiento de la invención puede permitir obtener una potencia perfectamente constante. De este modo, se evita tener que sobredimensionar la central eléctrica eólica para encajar sobrepotencias locales.

Después de un desenganche por efecto stall a una cierta velocidad del viento, se puede restaurar la capacidad de la central eléctrica eólica para funcionar a la potencia nominal, jugando sobre la velocidad de rotación de la parte giratoria.

Haciendo referencia a la figura 5, se puede explicar de la misma manera el modo en que se realiza la parada eléctrica normal de la central eléctrica eólica, es

decir el frenado eléctrico de la central eléctrica eólica entre su velocidad nominal y una velocidad sensiblemente nula.

Si se supone que la velocidad del viento V es constante durante la parada eléctrica de la central eléctrica eólica, esta parada se obtiene por reglaje del par resistente del alternador para disminuir progresivamente la velocidad ω de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica.

El frenado eléctrico de la central eléctrica eólica a partir del par resistente del alternador se obtiene de manera muy progresiva, imponiéndose un par mayor que el par nominal en una proporción relativamente pequeña, por ejemplo del orden del 10 %. A título de comparación, en el caso de los dispositivos anteriores, es necesario duplicar el par resistente para obtener un efecto de frenado de la central eléctrica eólica a partir de la velocidad nominal.

En el caso del frenado eléctrico realizado de conformidad con la invención, el efecto stall se añade muy rápidamente a la disminución de la velocidad por frenado eléctrico a partir del par resistente del alternador, para entrañar una disminución de la potencia de la central eléctrica eólica, que pasa desde su valor nominal hasta un valor prácticamente nulo.

En efecto, como puede verse en la figura 5, cuando se disminuye la velocidad ω , siendo constante la velocidad del viento V , la resultante W de la velocidad del viento y de la velocidad lineal ωR forma un ángulo de incidencia i creciente con la dirección longitudinal L de las palas de la central eléctrica eólica. De este modo se obtienen condiciones de stall, cuando el ángulo i alcance el valor i_d de desenganche.

La disminución de la velocidad ω por frenado eléctrico se realiza progresivamente, de manera que se pueda evacuar la potencia excedente en la red 13 conectada con la central eléctrica eólica, sin que la tensión en el bus de corriente continua 18 llegue al nivel de desenganche del interruptor periódico reostático 16.

Las condiciones de producción de corriente alterna trifásica por el ondulator 17 a partir de la corriente continua son tales que se pueden reglar los parámetros de la corriente trifásica enviada a la red 13, independientemente del funcionamiento del alternador 7, que está regulado, a su vez, por el rectificador MLI 15.

De este modo, la central eléctrica eólica puede hacerse funcionar bien como generador de corriente clásico, pudiendo ser adaptado el coseno ϕ de la corriente a la

demanda de la explotación, o también como compensador síncrono, suministrando la central eléctrica eólica a la red 13 una potencia reactiva en cantidad deseada, para satisfacer la demanda de la explotación de la red 13.

De este modo se evita tener que colocar unidades de compensación sobre la
5 red 13, en el caso de una demanda de corriente reactiva.

Debe señalarse que el ondulator 17 funciona de una manera análoga a la del
rectificador MLI 15, en sentido inverso, produciendo el ondulator 17 a partir de una
corriente continua por impulsos, suministrada por el bus continuo 18, una corriente
alterna trifásica, cuyos parámetros eléctricos pueden ser reglados a partir de la línea
10 de accionamiento 22 del ondulator que está conectado con la unidad de regulación y
de accionamiento 20.

Puesto que la realización del sistema electrónico de potencia 12, que está
asociado con la central eléctrica eólica, es completamente simétrico, el rectificador
15 y el ondulator 17, que están dispuestos a uno y otro lado del interruptor periódico
16, pueden funcionar de manera reversible, siendo posible utilizar la red 13 para
alimentar, por intermedio del transformador 14, al ondulator 17 que funciona
entonces como rectificador y que suministra a la salida una corriente continua por
impulso que es transmitida por el bus 18 conectado con el interruptor periódico 16, al
rectificador 15, que funciona entonces como ondulator, para suministrar una
20 corriente alterna al alternador 7, que funciona entonces como motor síncrono de
arrastre de la parte giratoria 5, 6 de la central eléctrica eólica.

Cuando la central eléctrica eólica está parada, se puede hacer pasar su
velocidad a una velocidad de puesta en marcha del alternador 7 pilotando el
rectificador 15 que funciona como ondulator y que está alimentado con corriente
25 continua por intermedio de la red y del ondulator 17, que funciona como
rectificador.

De este modo, se pueden realizar condiciones de puesta en marcha muy
flexibles con un acoplamiento a la red ideal, enganchándose el funcionamiento de la
central eléctrica eólica y del alternador 7 en producción de energía eléctrica
30 únicamente en el momento en que se alcance una velocidad ideal de puesta en
marcha del alternador, pudiendo ser esta velocidad relativamente pequeña debido a la
posibilidad de accionamiento de la central eléctrica eólica a velocidad variable y

creciente durante su primera fase de funcionamiento, para alcanzar la velocidad nominal, como se ha indicado más arriba.

De este modo, se pueden concebir palas, cuyo perfil esté realizado de forma completamente independiente de las condiciones de puesta en marcha de la central eléctrica eólica. Las palas de una central eléctrica eólica comprenden, por regla general, un pie de pala cilíndrico, que está fijado sobre el cubo, y una parte perfilada, cuyo perfil se afina, en la dirección longitudinal de la pala, cuando se aleja del pie de la pala. Para obtener un par de puesta en marcha suficiente, es necesario concebir palas, cuya parte perfilada presente una anchura importante (en una dirección radial tal como L sobre la figura 5), en las proximidades de la parte cilíndrica de conexión con el cubo.

Cuando pueda realizarse una puesta en marcha de la central eléctrica eólica utilizándose el alternador como motor, es posible utilizar palas, cuya parte perfilada tenga una anchura menor en su zona próxima a la parte cilíndrica de conexión con el cubo. De este modo se limitan los esfuerzos ejercidos por el viento sobre las palas, cuya parte más ancha en la proximidad del cilindro de conexión con el cubo ofrece una resistencia muy grande al viento. Por lo tanto, las palas resisten mejor a los vientos fuertes y es posible considerar un aligeramiento de las estructuras aguas debajo de las palas (en particular del cubo, de la barquilla y del mástil).

Cuando la central eléctrica eólica está parada, el procedimiento y el dispositivo de conducción de la central eléctrica eólica según la invención permiten disponer de un medio ideal para el reglaje de las condiciones de mantenimiento de la central eléctrica eólica en estado parado, cuando el rotor sea un rotor con imanes permanentes.

El alternador, que comprende un rotor con imán permanente, dispone de medios de acoplamiento tales como uno o varios conmutadores, que permiten conectar las fases del alternador entre sí.

Después de una parada normal (o incidental) del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, se bascula el conmutador, de tal manera que la puesta en cortocircuito del alternador, cuyo rotor con imán permanente continúa ejerciendo un campo magnético, produce un par resistente, que se opone a un aumento de la velocidad de rotación del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica. De este

modo, se produce muy rápidamente un desenganche de las palas de la parte giratoria del alternador, como se ha explicado con relación a la figura 5. El desenganche es tanto más rápido e importante cuanto más fuerte sea el viento. Por lo tanto, el viento no puede ejercer más que un par muy limitado sobre el rotor y el conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, lo que se traduce en una rotación a velocidad muy baja del conjunto giratorio. Este funcionamiento a velocidad muy baja es perfectamente estable debido al frenado eléctrico del alternador y del desenganche de las palas, que se acrecienta desde el momento en que el viento se hace más fuerte. Por lo tanto, se obtiene de este modo un asegurado perfecto de la parada de producción de la central eléctrica eólica, girando entonces el conjunto rotativo a una velocidad sensiblemente menor que la velocidad de rotación para la producción de energía eléctrica (por ejemplo dos a tres vueltas por minuto). Esta ligera rotación del alternador permite evitar marcar las pistas del rodamiento del palier del rotor, desplazándose los elementos giratorios del palier según toda la periferia de las pistas del rodamiento.

La potencia eléctrica muy baja producida por el alternador durante esta rotación a baja velocidad, que se disipa en los bobinados del estator del alternador, permite mantener el alternador en temperatura, lo que evita cualquier problema de condensación sobre los elementos del alternador, independientemente de las condiciones atmosféricas.

El interruptor periódico reostático 16, que está colocado en paralelo sobre el bus de corriente continua 18, conectado con la salida del rectificador MLI 15 y con la entrada del ondulator MLI 17, permite regular la transmisión de potencia eléctrica entre el alternador y la red.

Cuando la red 13 no pueda evacuar toda la potencia suministrada por el alternador 7, la tensión en el bus continuo 18 aumenta y una señal correspondiente es enviada por la línea 24 a la unidad de regulación y de accionamiento numérico 20. La unidad de regulación y de accionamiento 20 transmite una señal de accionamiento al interruptor periódico reostático por la línea 28, de manera que el interruptor periódico reostático 16 realiza una interrupción de la corriente continua y evacua sobre el reóstato 29 una parte de la potencia eléctrica, con el fin de equilibrar la transmisión de potencia entre el alternador y la red.

En particular, el interruptor periódico reostático 16 puede ser utilizado para

evacuar energía transitoria procedente del rectificador MLI, en el caso de un fallo de la red de corta duración, tal como una microinterrupción de una duración menor que un segundo, o incluso en el caso de una disfunción del ondulator, o durante una parada incidental de la central eléctrica eólica.

5 En el caso de una microinterrupción que aparezca sobre la red 13, es decir una interrupción de la red de una duración típicamente menor que un segundo, la red no puede ya evacuar la potencia eléctrica procedente del sistema electrónico de potencia 12 y la tensión en el bus de corriente continua 18 aumenta, debido a que el rectificador MLI continua suministrando corriente continua, obtenida por conversión
10 de la corriente alterna del alternador 7.

La unidad de accionamiento 20 recibe la información del aumento en tensión del bus continuo 18 por la línea 24 y transmite una orden de activación al interruptor periódico 16 por la línea 28. El interruptor periódico evacua sobre el reóstato 29 una parte de la potencia eléctrica, que ha recibido por el bus de corriente continua 18. Se
15 retorna a un umbral de potencia mínima determinado y si este umbral de potencia se mantiene, se reinicia el funcionamiento normal de la central eléctrica eólica.

Si la potencia continua aumentando por encima del umbral determinado, debido a una persistencia del defecto de la red 13, se realiza una nueva operación de absorción de potencia en el reóstato 29 del interruptor periódico electrostático.

20 Cuando el defecto persiste durante una duración típicamente mayor que un segundo, se realiza una parada incidental de la central eléctrica eólica.

En el caso de un incidente o de un accidente que se traduzcan en un defecto duradero de la red 13 o del ondulator 17, se realiza una parada de la central eléctrica eólica, por puesta en marcha del procedimiento de parada por frenado eléctrico, que
25 ha sido descrito más arriba y por frenado mecánico.

A diferencia de lo que ocurre en el caso de una parada normal, cuyo desarrollo progresivo puede ser programado con el fin de evacuar la potencia sobre la red, en el caso de una parada incidental o accidental, se evacua la potencia producida por el alternador y transmitida por el rectificador, hasta el reóstato 29 del interruptor
30 periódico.

El frenado es asegurado hasta un desenganche del conjunto rotativo de la central eléctrica eólica, como se ha descrito precedentemente.

La invención no se limita estrictamente al modo de realización que ha sido descrito.

De este modo, el sistema electrónico de potencia puede comprender elementos diferentes de los que han sido indicados más arriba, a partir del momento
5 en que este sistema electrónico de potencia efectúe en una fase intermedia la conversión de la corriente alterna del alternador de la central eléctrica eólica en corriente continua utilizando un medio, cuya corriente pueda ser modulada para regular la reacción de los parámetros eléctricos a la salida del alternador.

El alternador de la central eléctrica eólica puede ser diferente de un alternador
10 que tenga un rotor con imanes permanentes. Sin embargo, para la implementación de la invención, el rotor del alternador debe permitir un control del par. El rotor puede ser un rotor bobinado que comprenda enrollamientos eléctricos y, por ejemplo, realizados en forma de un rotor bobinado de tipo síncrono. En el caso de un rotor con imanes permanentes, se obtiene una ventaja complementaria puesto que se puede
15 realizar un frenado de la parte giratoria de la central eléctrica eólica parada.

El alternador y la central eléctrica eólica pueden ser de cualquier tipo y pueden presentar cualquier potencia. El procedimiento y el dispositivo de conformidad con la invención están perfectamente adaptados en particular al caso de centrales eléctricas eólicas y de alternadores de gran potencia, por ejemplo de
20 potencias próximas a 1 MW o por encima de este valor.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de regulación de una instalación de producción de energía eléctrica, que comprende un alternador eléctrico (7) que tiene un rotor (8), que es solidario con la parte giratoria (5, 6) de una central eléctrica eólica, para constituir un conjunto rotativo, y un sistema electrónico de potencia (12), que comprende un medio (15) para la conversión de la corriente alterna producida por el alternador (7), en corriente continua, **caracterizado porque** se regulan las características eléctricas de la corriente eléctrica producida por el alternador (7) y la velocidad de rotación del conjunto rotativo, por modulación de la corriente continua producida por el medio de conversión (15) del sistema electrónico de potencia (12) a partir de la corriente eléctrica producida por el alternador (7).

2.- Procedimiento de regulación según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en una primera fase de funcionamiento de la instalación de producción de energía eléctrica, para velocidades pequeñas del viento, se hace crecer la velocidad de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8) de la central eléctrica eólica, de manera que la velocidad de rotación pase progresivamente desde un valor pequeño de puesta en marcha hasta un valor máximo, siendo creciente el par sobre el rotor, según una ley de variación velocidad/par predeterminada.

3.- Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** en una segunda fase de funcionamiento, cuando la velocidad del viento es mayor que un primer valor de umbral, se regula la velocidad de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8) de la central eléctrica eólica a un valor máxima fijo, o valor nominal, que permite obtener una recuperación de potencia óptima de la central eléctrica eólica.

4.- Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** en una segunda fase de funcionamiento de la central eléctrica eólica, cuando la velocidad del viento es mayor que un segundo valor de umbral, se regula la velocidad máxima de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8) de la central eléctrica eólica, con el fin de mantener la potencia de la central eléctrica eólica a un valor fijo y, de manera preferente, al valor máximo de la potencia aceptable por la central eléctrica eólica.

5.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 3 y 4, **caracterizado porque** se regulan las características eléctricas de la corriente eléctrica producida por el alternador, de manera que la tensión interna en vacío del

alternador se encuentre en fase con la intensidad de la corriente.

6.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** se regula la velocidad máxima de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8) de la central eléctrica eólica a un valor que permita un desenganche
5 de las palas (6) de la parte giratoria (5, 6) de la central eléctrica eólica, para una velocidad de viento determinada.

7.- Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** cuando la velocidad del viento es menor que el segundo valor de umbral, se hace crecer la velocidad de rotación del conjunto rotativo, de manera progresiva y regulada y se
10 registran las variaciones del valor de la velocidad de rotación, con el fin de utilizar ulteriormente la curva de variación de la velocidad de rotación para controlar el aumento de velocidad del conjunto rotativo.

8.- Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** se fija el valor nominal de la velocidad de rotación a un valor tomado entre, al menos, dos
15 valores, en función de las condiciones climáticas en la ubicación de la central eléctrica eólica y, en particular, a una primer valor en período de verano y a un segundo valor en período de invierno.

9.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** se utiliza un medio de conversión de la corriente continua
20 (17) para suministrar una corriente alterna a una red de utilización (13) y porque se regulan los parámetros eléctricos de la corriente alterna, suministrada a la red de utilización (13), por accionamiento del medio (17) de conversión de la corriente continua en corriente alterna.

10.- Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** los
25 parámetros eléctricos regulados de la corriente alterna, suministrada a la red (13), comprenden el coseno ϕ y la potencia reactiva de la corriente suministrada a la red.

11.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 9 y 10, **caracterizado porque** se regula la potencia eléctrica transmitida del medio de conversión de la corriente alterna del alternador (7) en corriente continua, al medio
30 de conversión (17) de la corriente continua en corriente alterna, por un medio de interrupción (16) de la corriente continua transmitida entre el medio de conversión (15) de la corriente alterna en corriente continua y el medio (17) de conversión de la

- 30 -

corriente continua en corriente alterna y de derivación de una parte al menos de la corriente eléctrica sobre un reóstato (29).

12.- Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** durante una microinterrupción de la red eléctrica (13), de una duración menor que un
5 límite fijo (de manera típica un segundo), se realiza la interrupción de la corriente eléctrica y la derivación de una parte al menos de la corriente para evacuar la potencia eléctrica del alternador, durante la microinterrupción de la red (13).

13.- Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** en el caso de una interrupción de la red eléctrica (13) de una duración mayor que un límite
10 fijado (de manera típica un segundo) o de una disfunción del medio de producción de corriente alterna (17), se provoca una parada de la instalación de producción de energía eléctrica, al menos parcialmente por frenado eléctrico, a partir del par resistente del alternador y se evacua una potencia eléctrica excedente producida por el alternador en un reóstato (29) del dispositivo (16) de interrupción de la corriente
15 eléctrica continua, producida por el medio de conversión (15) de la corriente alterna del alternador (7) en corriente continua.

14.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** se realiza una parada de la central eléctrica eólica para hacer pasar la velocidad del conjunto rotativo (5, 6, 8) desde una velocidad nominal hasta
20 una velocidad pequeña prácticamente nula, realizándose un frenado eléctrico del conjunto rotativo (5, 6, 8) aumentándose el par resistente del alternador (7) por reglaje de los parámetros eléctricos de la corriente producida por el alternador (7), de manera progresiva y porque se evacua una potencia excedente sobre la red (13), al menos única, que es alimentada por la instalación de producción de corriente
25 eléctrica y de un reóstato (29).

15.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado porque** se pone en cortocircuito al alternador (7), que comprende un rotor (8) con imanes permanentes, después de la parada de la instalación de producción de corriente eléctrica, con el fin de crear un par resistente que se oponga
30 a una elevación de la velocidad de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8), para obtener una velocidad de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8) sensiblemente menor que una velocidad de rotación durante un funcionamiento de la instalación

para la producción de energía eléctrica.

16.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado porque** se efectúa la puesta en marcha de la central eléctrica eólica inicialmente en estado parado, haciéndose funcionar al alternador (7) como motor
5 síncrono alimentado por intermedio del sistema electrónico de potencia (12), con el fin de arrastrar a la parte giratoria (5, 6) de la central eléctrica eólica a una velocidad de puesta en marcha del alternador (7).

17.- Dispositivo de regulación de una instalación de producción de energía eléctrica, que comprende un alternador eléctrico (7), que tiene un rotor (8) que es
10 solidario con la parte giratoria (5, 6) de una central eléctrica eólica, para constituir un conjunto rotativo (5, 6, 8), y un sistema electrónico de potencia (12), que comprende un medio (15) de conversión de la corriente alterna, producida por el alternador (7), en corriente continua, **caracterizado porque** el medio de conversión de la corriente alterna, producida por el alternador (7) en corriente continua es un rectificador con
15 modulación de anchura de impulso (15) conectado con una unidad de regulación y de accionamiento numérico (20), que regula la corriente continua por impulsos producida por el rectificador con modulación de anchura de impulso (15), en función de una medida de intensidad y de tensión de la corriente producida por el alternador y de la velocidad de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8), siendo apta la unidad de
20 regulación y de accionamiento numérico (20) para **regular** la velocidad de rotación del conjunto rotativo (5, 6, 8) por la modulación de la corriente continua producida por el rectificador con modulación de anchura de impulso (15).

18.- Dispositivo según la reivindicación 17, **caracterizado porque** el sistema electrónico de potencia (12) comprende, además, un ondulator con modulación de
25 anchura de impulso (17), que está conectado con una parte de salida del rectificador con modulación de anchura de impulso (15) por, al menos, un bus de corriente continua (18), que tiene una parte de salida conectada con una red (13) de utilización de una corriente alterna producida por el ondulator con modulación de impulso (17) a partir de la corriente continua, estando conectado el ondulator con modulación de
30 anchura de impulso (17) con la unidad de regulación y de accionamiento numérico (20), que recibe una medida de la tensión de la corriente alterna suministrada a la red de utilización (13), para regular la corriente eléctrica suministrada por el ondulator

con modulación de impulso (17) a la red (13).

19.- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 17 y 18, **caracterizado porque** el sistema electrónico de potencia (12) comprende, además, un interruptor periódico reostático (16) conectado con la parte de salida del rectificador con modulación de impulso (15) y con una parte de entrada del ondulator con modulación de impulso (17) de corriente continua, estando conectado el interruptor periódico reostático (16) con la unidad de regulación y de accionamiento numérico (20), que recibe una señal representativa de la tensión en el bus de corriente continua (18), que une la parte de salida del rectificador con modulación de impulso (15) con el interruptor periódico reostático (16), con el fin de accionar la interrupción de la corriente eléctrica que atraviesa el interruptor periódico reostático (16) y la derivación de una parte al menos de la corriente eléctrica hacia un reóstato (29), con ocasión de un aumento de la tensión en el bus de corriente continua (18).

20.- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, **caracterizado porque** el rotor (8) del alternador eléctrica (7) es un rotor con imanes permanentes y porque el alternador eléctrico (7) comprende medios de acoplamiento de las fases del alternador entre sí.

21.- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, **caracterizado porque** el rotor (8) del alternador eléctrico (7) es un rotor bobinado y, principalmente, es un rotor bobinado síncrono.

Siguen seis hojas de dibujos.

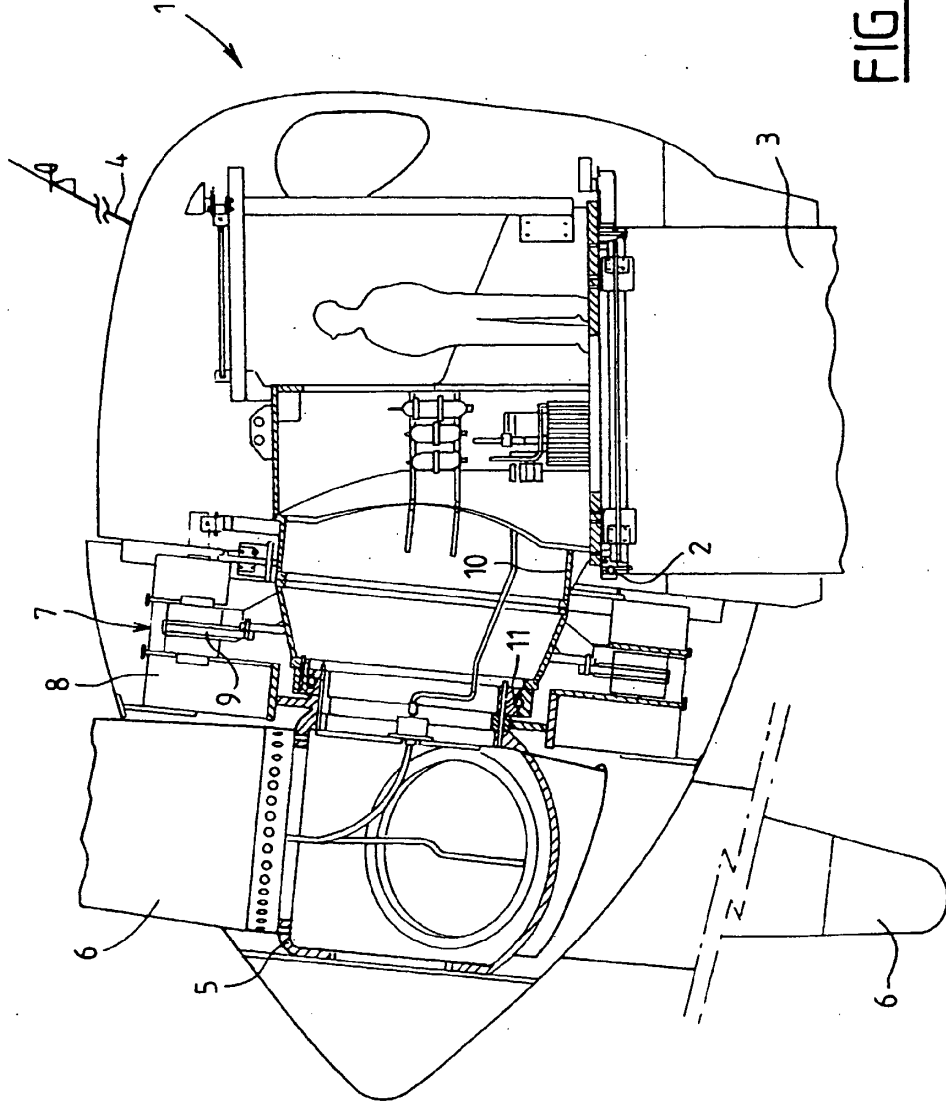


FIG. 1

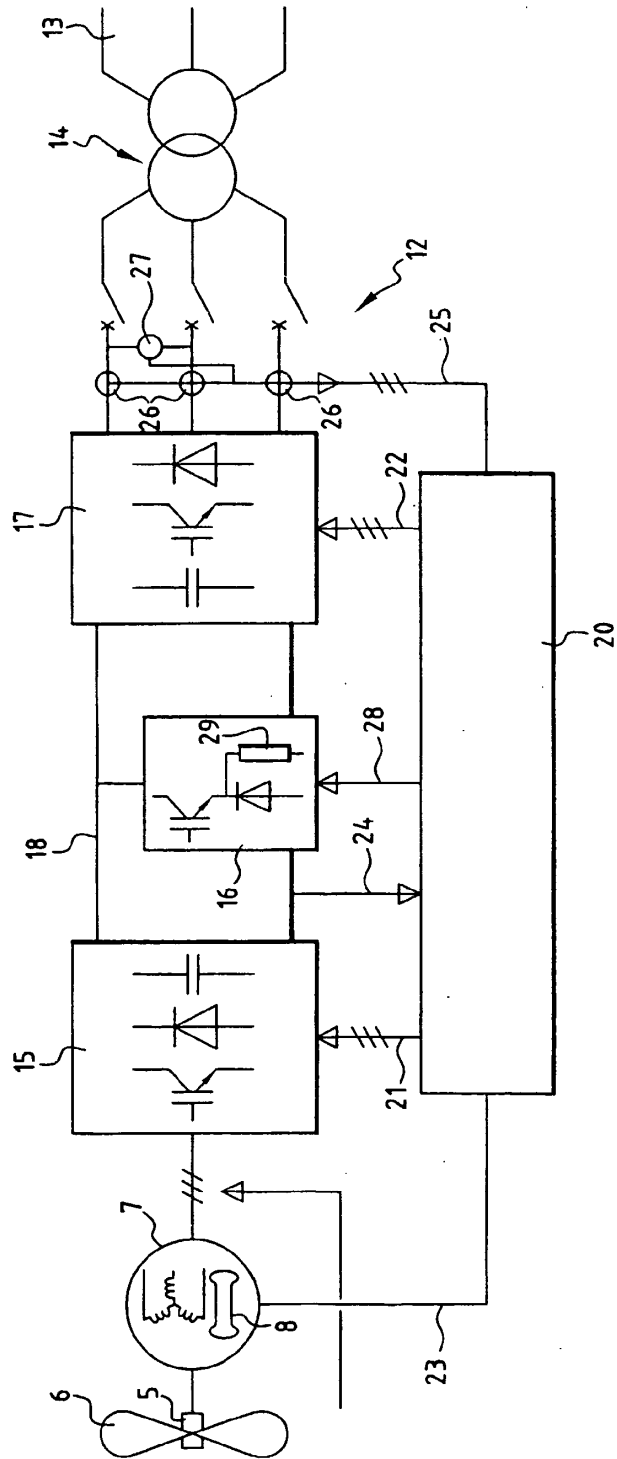


FIG.2

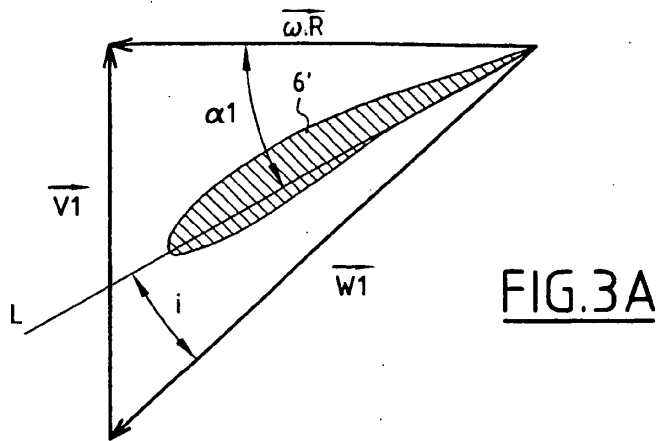


FIG. 3A

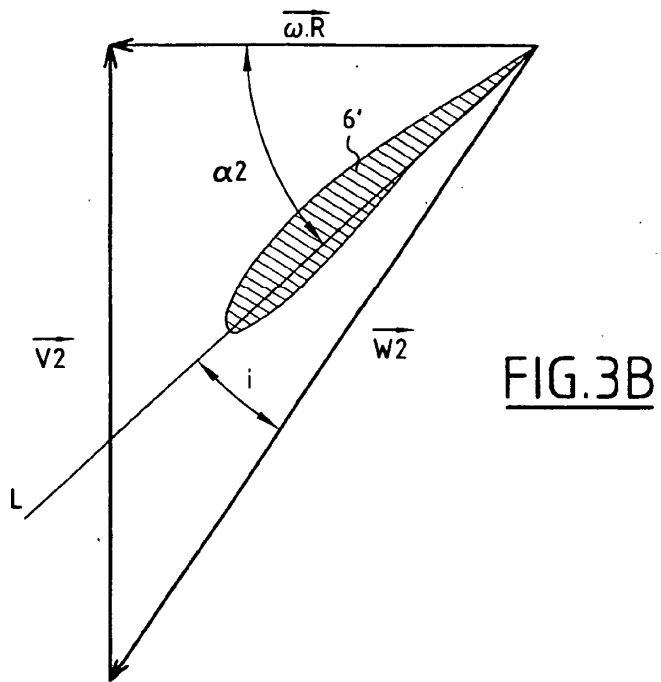


FIG. 3B

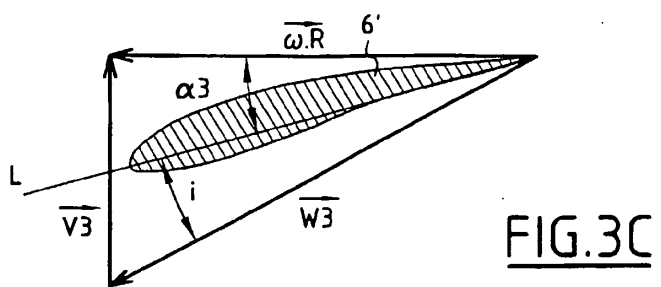


FIG. 3C

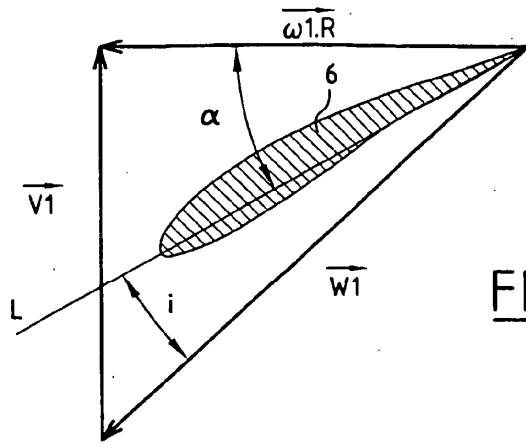


FIG.4A

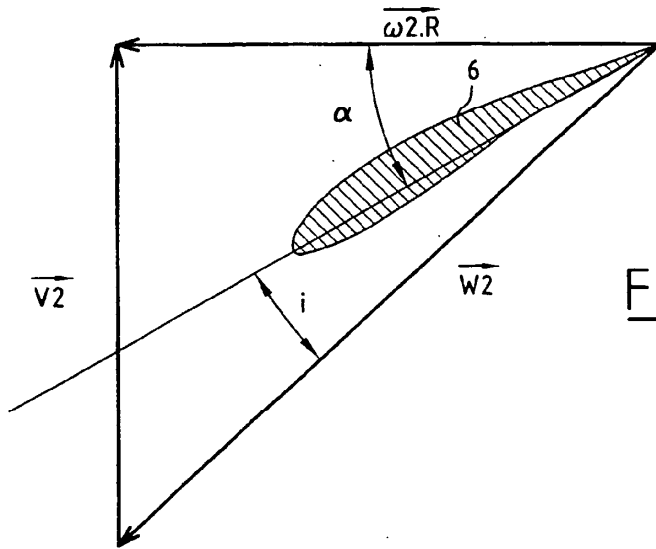


FIG.4B

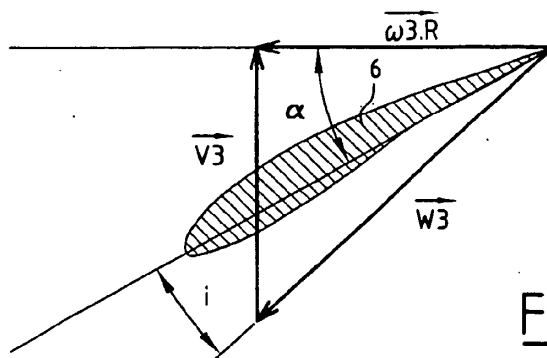


FIG.4C

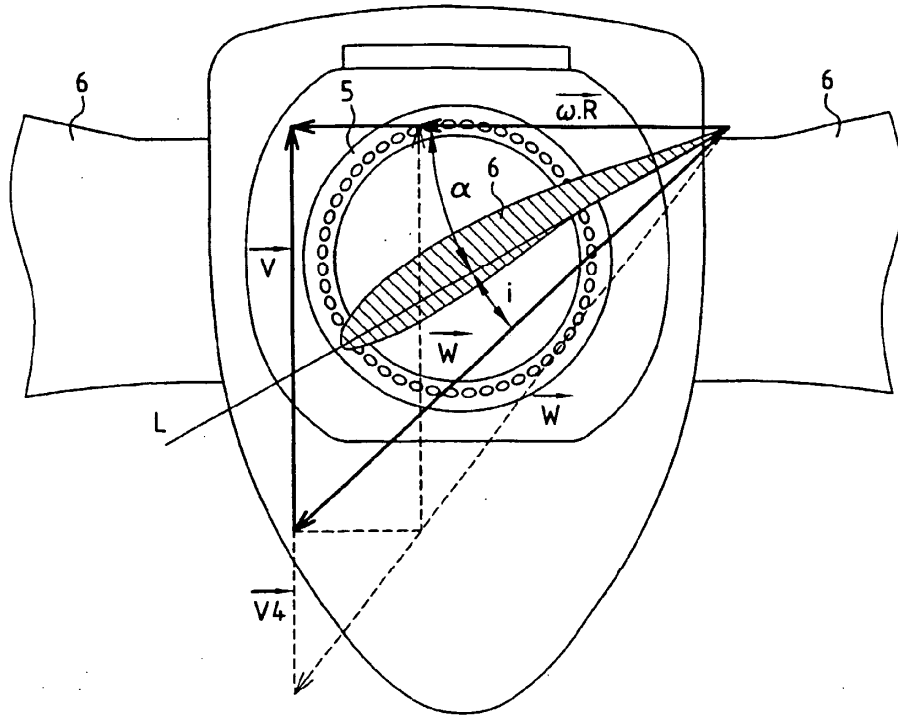


FIG.5

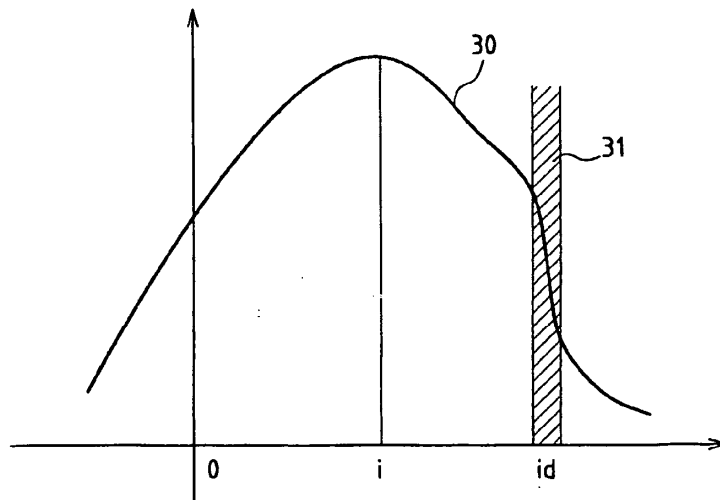


FIG.6

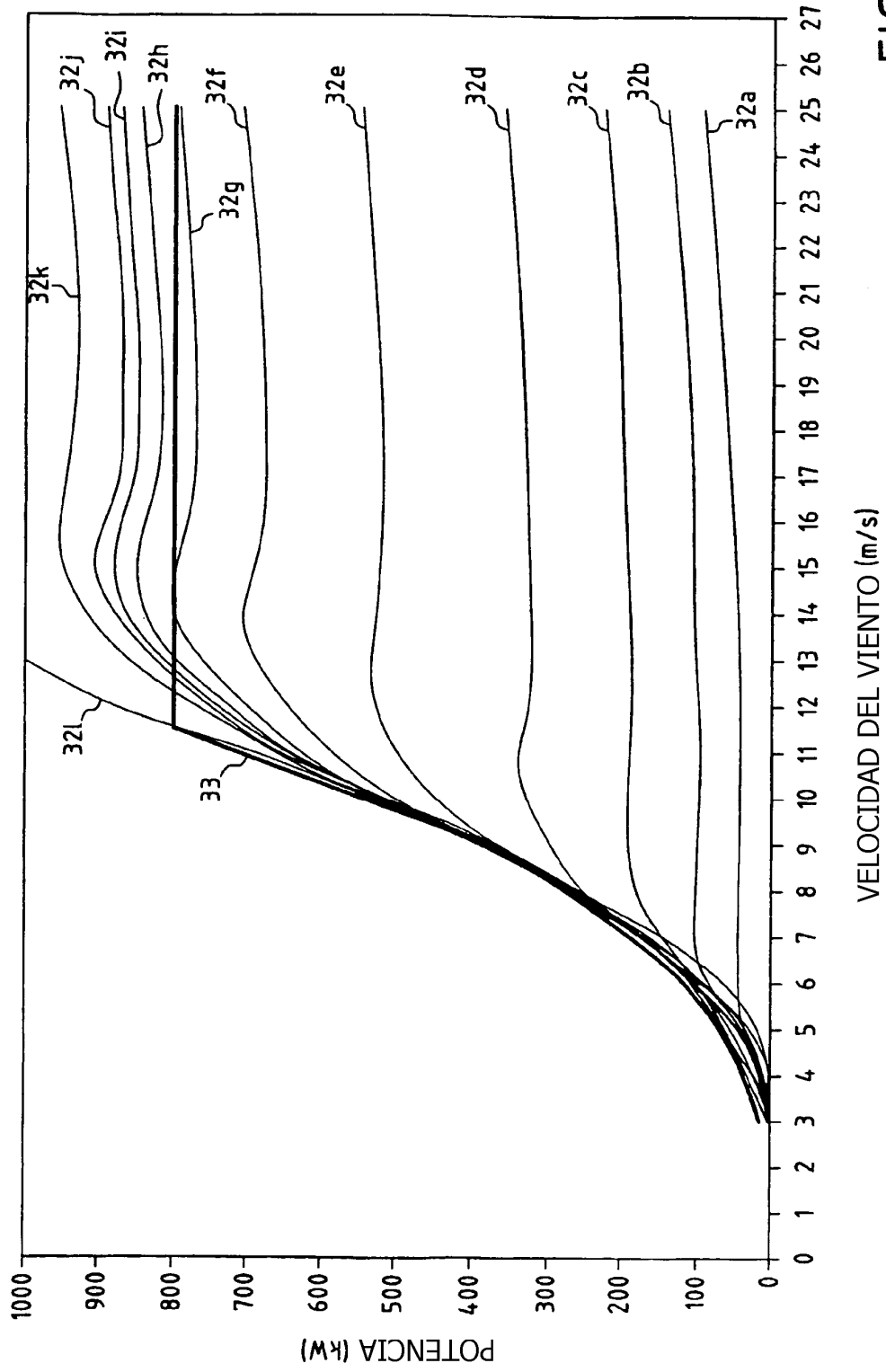


FIG.7