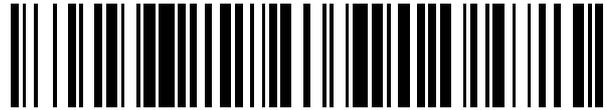


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 401**

51 Int. Cl.:

H02P 9/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2016** **E 16159309 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019** **EP 3073631**

54 Título: **Instalación de energía eólica con supresión de las oscilaciones subsíncronas**

30 Prioridad:

13.03.2015 DE 102015003170

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

14.02.2020

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**LETAS, HEINZ-HERMANN y
CAI, LIJUN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 742 401 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

Instalación de energía eólica con supresión de las oscilaciones subsíncronas

5 La invención se refiere a una instalación de energía eólica con un rotor eólico, un generador accionado por el mismo con convertidor para la generación de energía eléctrica que es entregada a una red a través de una línea de conexión y un control del convertidor que presenta un canal de regulación para el control de la entrega de energía a la red y para la excitación del generador.

10 Una parte creciente en el suministro eléctrico lo asumen las instalaciones de energía eólica del tipo constructivo moderno. Presentan un generador acoplado con un convertidor, en donde el convertidor puede estar realizado como un denominado convertidor completo o como un denominado convertidor parcial, en particular para motores asincrónicos doblemente alimentados. Las instalaciones de energía eólica alimentan la red de abastecimiento eléctrica que presenta una determinada frecuencia de la red (en la mayoría de los países, ésta es de 50 Hz, en algunos, sin embargo, también de 60 Hz).

15 Es conocido que en funcionamiento se pueden producir interacciones de baja frecuencia entre una instalación de energía eólica, por un lado, y la red, por otro, a saber, en particular cuando el sistema de transmisión está compensado en serie. Se conocen diferentes tipos de oscilaciones subsíncronas, en particular resonancias subsíncronas (SSR), así como interacciones del regulador subsíncronas (SSCI) e interacciones de torsión subsíncronas (SSTI). En este caso, por resonancias subsíncronas (SSR) se entiende una interacción entre un sistema de transmisión compensado en serie y un generador, en particular de una instalación de energía eólica. Por el contrario, las SSTI afectan a interacciones entre un generador y un control electrónico de potencia tal como se pueden encontrar, p. ej., en sistemas de transferencia de corriente continua de alta tensión (HGU). Por el contrario, en el caso de las SSCI se trata de interacciones entre un sistema de transmisión compensado en serie y un dispositivo de control de la electrónica de potencia tal como está previsto para un generador asíncrono doblemente alimentado. Estas interacciones tienen en común que en este caso se intercambia energía de manera alterna entre la red y la instalación de energía eólica. Con ello, pueden producirse fenómenos de resonancia, oscilaciones del par motor, o similares, que son perjudiciales para la seguridad de funcionamiento de la instalación y, en el caso más desfavorable, pueden conducir a una avería prematura.

30 Para combatir los efectos nocivos, se ha intentado prever en los reguladores del convertidor de las instalaciones de energía eólica una amortiguación mayor. Mediante esta amortiguación se ha de conseguir que no sean demasiado intensas las oscilaciones subsíncronas. Cuanto más potente se haga la amortiguación, tanto más alta puede desplazarse hacia arriba la frecuencia límite de la aparición de oscilaciones subsíncronas críticas. No obstante, una medida de este tipo del aumento de la amortiguación es puramente pasiva y conlleva, como inconveniente adicional, un aumento a menudo indeseado de la inercia de la regulación del convertidor en conjunto, es decir que, p. ej., el convertidor reacciona entonces solo de manera muy retardada a requisitos de potencia modificados. Esto es realmente desventajoso para las propiedades de funcionamiento.

35 El documento IEEE "Sub-Synchronous Interaction Damping Control for DFIG Wind Turbines" da a conocer una instalación de energía eólica con en cada caso las características de las cláusulas precharacterizantes de las reivindicaciones 1 y 11.

La invención tiene por misión indicar un sistema mejorado y un método mejorado para evitar o reducir oscilaciones subsíncronas.

40 La solución de acuerdo con la invención se encuentra en las características de las reivindicaciones independientes. Perfeccionamientos ventajosos son objeto de las reivindicaciones dependientes.

45 En el caso de una instalación de energía eólica con un rotor eólico, un generador accionado por el mismo con convertidor para la generación de energía eléctrica que es entregada a una red a través de una línea de conexión y un control del convertidor que presenta un primer canal de regulación para el control de la entrega de energía a la red y para la excitación del generador, está previsto, de acuerdo con la invención, que esté previsto un segundo canal de regulación, distinto del primer canal de regulación, que está realizado como un regulador orientado al campo y que para ello presente una unidad de transformación de coordenadas, que esté diseñada de forma subsíncrona y que esté provista para ello de un sistema de coordenadas circundante con una frecuencia que es cuantitativamente menor que la frecuencia de la red.

50 La invención se basa en la idea de prever un regulador adicional, el cual esté dispuesto adicionalmente a la regulación de potencia presente ya en el control del convertidor. Este regulador adicional está realizado como un regulador orientado al campo que está configurado para la regulación en el plano d, q. En este caso, está

configurado de modo que presenta un vector de campo propio circundante (distinto del regulador de la potencia ya presente). Para este fin, presenta una unidad de transformación de coordenadas propia que ha implementado un vector de campo circundante que gira con una menor frecuencia que la frecuencia de la red. Con ello, el regulador adicional está configurado de manera especial para el intervalo subsíncrono.

5 La invención se basa en que con el regulador adicional se crea una regulación propia especial en un intervalo de frecuencias totalmente diferente que en el caso del regulador de la potencia que trabaja en el plano de la frecuencia de la red. Para ello, las señales de salida de las dos regulaciones se enlazan entre sí, de modo que tanto el regulador de la potencia ya presente como el regulador adicional de acuerdo con la invención actúan de forma cooperativa sobre el convertidor propiamente dicho.

10 Por consiguiente, mediante el regulador adicional se crea una regulación en un plano de frecuencia adicional que se diferencia del plano del regulador de potencia ya presente. Este plano de frecuencia adicional se encuentra por debajo de la frecuencia de la red. Con ello, el regulador adicional de acuerdo con la invención puede estar adaptado especialmente para combatir interacciones subsíncronas. Puede contrarrestar de forma activa la formación de oscilaciones subsíncronas de este tipo sin que con ello - como en el estado de la técnica - se ralentice el regulador habitual. El regulador habitual permanece por completo intacto y no es cargado de acuerdo con la invención con miembros de amortiguación adicionales.

De esta forma se puede conseguir combatir esencialmente mejor oscilaciones subsíncronas a lo largo de un amplio intervalo de frecuencias subsíncrono. Mediante el canal de regulación propio, la regulación adicional es robusta en relación con diferentes condiciones de funcionamiento, dado que no necesita ocuparse en absoluto de los distintos requisitos de potencia (tal como se establecen, p. ej., por el operador de la red), dado que esto ya es asunto del regulador de potencia ya presente (al cual, sin embargo, de nuevo no se recurre para combatir las oscilaciones subsíncronas).

En conjunto, mediante el segundo canal de regulación previsto de acuerdo con la invención resulta posible combatir de forma claramente mejorada las oscilaciones subsíncronas de un modo activo mediante una regulación propia, a saber, sin efectos negativos sobre la inercia de toda la regulación del convertidor. Una ventaja adicional de la invención es que las ventajas funcionales considerables pueden alcanzarse sin o solo con una complejidad del hardware particularmente pequeña. La invención se adecua, por consiguiente, también para el re-equipamiento de instalaciones existentes.

Otras ventajas de la invención son una lucha eficaz de oscilaciones subsíncronas, en particular de las resonancias subsíncronas (SSR) y de las interacciones del regulador subsíncronas (SSCI) y, a saber, de manera muy eficiente. Los dispositivos requeridos para ello pueden realizarse, por norma general, con el hardware existente del convertidor, de modo que en este sentido no resulta complejidad adicional alguna. Además, mediante la regulación activa determinada por el segundo canal de regulación se alcanza una mayor robustez frente a desplazamientos de frecuencia de oscilaciones subsíncronas que la que era posible en el caso de los procedimientos empleados de modo clásico mediante una amortiguación pasiva.

Convenientemente, las unidades de transformación de coordenadas del segundo canal de regulación comprenden un convertidor de coordenadas en el que en la red se disponen señales de medición para la corriente y la tensión, un núcleo regulador, así como un retrotransformador de coordenadas que proporciona la señal de partida. Con ello, resulta una constitución estructural y funcionalmente más favorable del canal de regulación que se compagina bien con el primer canal de regulación previsto ya para el control de la potencia del convertidor. Con ello se contrarresta de manera eficaz el riesgo de interacciones entre los dos canales de regulación, las cuales pudieran conducir a la aparición de oscilaciones del regulador con cargas correspondientes. Por norma general, el primer canal de regulación está realizado asimismo como una regulación orientada al campo, con un sistema de coordenadas circundante síncrono con la red. Sin embargo, esto no es absolutamente necesario para la invención. El segundo canal de regulación trabaja en este sentido de forma autárquica gracias a unidades de transformación de coordenadas propias.

Preferiblemente, el segundo canal de regulación está conectado en la salida del primer canal de regulación, a saber, en particular inmediatamente delante de una unidad de modulación que está configurada para el control de válvulas de corriente del convertidor. La unidad de modulación está realizada preferiblemente como una unidad de modulación del ancho de pulsos (unidad de PWM). Con ello, resulta un acceso directo del segundo canal de regulación, análogo al acceso del primer canal de regulación, sobre la unidad de modulación decisiva para la función de las válvulas de corriente. Para la conexión están previstos convenientemente miembros de sumación.

Ventajosamente, el segundo canal de regulación presenta una unidad de sincronización de salida (PLL) propia que está configurada para un intervalo de frecuencias más bajo que la frecuencia de la red. Un intervalo de frecuencias

5 conveniente se encuentra en el intervalo entre 10% y 80% de la frecuencia de la red. En este intervalo se encuentran habitualmente las oscilaciones subsíncronas, de modo que mediante la determinación de la unidad de sincronización de salida a este intervalo de frecuencias se alcanza una adaptación óptima del segundo canal de regulación, por una parte, y el desacoplamiento del primer canal de regulación, por otra. Convenientemente, la unidad de sincronización de salida propia emite un vector de campo subsíncrono, cuya frecuencia es menor que la frecuencia en la red y que está diseñado como indicador de entrada en el convertidor inverso de coordenadas. Con ello, se puede alcanzar una transformación inversa de coordenadas precisa y segura en el funcionamiento, de modo que las señales de salida del segundo canal de regulación se incluyen armónicamente en la señal de salida del primer canal de regulación ya presente.

10 Convenientemente, el segundo canal de regulación está configurado de modo que su núcleo de regulación comprende preferiblemente miembros de adelanto/retraso. Con ello, se puede alcanzar de un modo sencillo, al igual que también conveniente, una regulación eficiente para reducir las oscilaciones subsíncronas. Se prefiere que delante de los miembros de adelanto/retraso esté antepuesto un paso bajo.

15 El convertidor presenta preferiblemente un inversor del lado del generador, así como un inversor del lado de la red, en donde solo el inversor del lado de la red está provisto del segundo canal de regulación. Esto es particularmente conveniente en aquellas formas de realización en las que el generador está realizado como un generador síncrono. Con ello, se proporciona un resultado máximo con una complejidad mínima. - Sin embargo, también puede estar previsto que el generador esté realizado como un generador asíncrono doblemente alimentado, en donde entonces convenientemente tanto el inversor del lado del generador como el inversor del lado de la red presentan en cada caso un segundo canal de regulación propio. Con ello se puede alcanzar también con un convertidor relativamente pequeño una importante cooperación para suprimir oscilaciones subsíncronas.

25 La invención se extiende, además, a un correspondiente procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica tal como se ha descrito precedentemente, caracterizado por las etapas: compensar oscilaciones subsíncronas mediante un segundo canal de regulación que realiza una regulación orientada al campo, realizar una transformación de coordenadas propia en el segundo canal de regulación para el intervalo de frecuencias subsíncrono, emitir las señales mediante un núcleo regulador, realizar una retrotransformación de coordenadas propia en la salida del núcleo regulador y enlazar estas señales de salida con señales de salida del primer canal de regulación.

Para una explicación más detallada se remite a la descripción que antecede.

30 La invención se explica en lo que sigue haciendo referencia al dibujo adjunto con ayuda de un ejemplo de realización ventajoso. Muestran:

La Fig. 1: un diagrama de bloques de una instalación de energía eólica;

la Fig. 2: una representación de una línea de transmisión compensada en serie con elementos concentrados;

35 la Fig. 3: un esquema funcional de un control del convertidor con primer y segundo canales de regulación;

la Fig. 4: una representación en detalle de un núcleo regulador de un segundo canal de regulación;

la Fig. 5: un diagrama de conexión que representa una unión del segundo canal de regulación con un inversor del lado de la red del convertidor;

40 la Fig. 6: un diagrama de conexión de un segundo canal de regulación en un inversor del lado de la máquina del convertidor; y

la Fig. 7: un diagrama con curvas características de frecuencia.

45 Una instalación de energía eólica para la aplicación de la invención está representada esquemáticamente en la Fig. 1. Comprende un rotor eólico 1 con varias palas 10 del rotor ajustables en la inclinación. A través de un engranaje 12 acciona a un generador 2, que en el ejemplo de realización representado, está realizado como motor asíncrono doblemente alimentado, con un estator 20 y un rotor 21. El estator 20 está conectado directamente a un transformador 23 de la instalación, del que una línea de transmisión 3 conduce a una red de abastecimiento 9.

En el rotor 21 del generador 2 está conectado un convertidor 5. El convertidor 5 comprende un inversor 51 en el lado de la máquina, el cual está unido con el rotor 21, así como un inversor 52 del lado de la red que está conectado al

transformador de la instalación 23. Los dos inversores 51, 52 están unidos entre sí a través de un circuito intermedio de corriente continua 53. Como acumulador de energía comprende un condensador 54. Además, está previsto un interruptor 55 en el circuito intermedio 53.

5 El funcionamiento del convertidor 5 es controlado por un control 6 del convertidor. Comprende dos unidades, una primera unidad 61 para el inversor 51 del lado de la máquina y una segunda unidad 62 para el inversor 52 del lado de la red. Señales de guía para el control 6 del convertidor son aplicadas por un control 11 del funcionamiento de la instalación de energía eólica. Ésta emite una señal del par motor T_{ed} al control 6 del convertidor. Comprende, además, un regulador de la inclinación, el cual emite una señal de ajuste para un ángulo de inclinación α para el ajuste del ángulo de inclinación de las palas 10 del rotor.

10 La conexión de la instalación de energía eólica a una red a través de una línea de conexión 3 se representa con mayor detalle en la Fig. 2. Los distintos componentes que sirven para la conexión están divididos en bloques funcionales. Un primer bloque funcional comprende el generador 2 con el transformador 23 de la instalación de energía eólica propiamente dicha. Éste representa el comienzo de la línea de transmisión o bien de los sistemas más complejos del sistema de transmisión. En el otro extremo está dispuesta la red de abastecimiento 9 que absorbe la potencia en un bloque funcional propio. Entremedias se encuentran dos bloques funcionales, en donde el situado más próximo a la instalación de energía eólica representa la línea de transmisión 3 propiamente dicha. Está representado eléctricamente por una impedancia 30 que presenta una porción de viento inductiva considerable. Con el fin de compensar esto, está previsto el otro bloque funcional central que comprende una compensación en serie 4. Ésta está representada por un elemento concentrado que forma una capacidad 40. En resumen, la conexión de la instalación de energía eólica con su generador 2 y el transformador 23 de la instalación a la red 9 está representada de manera que para la compensación de la inductividad de la línea de conexión está prevista adicionalmente una capacidad 40 que está dispuesta en un circuito en serie. Esto se designa como sistema de transferencia compensado en serie. En general, durante el funcionamiento de instalaciones de energía eólica es propenso a interacciones subsíncronas (SSI), pudiendo producirse una perturbación o un deterioro de la seguridad de funcionamiento.

Para reducir efectos negativos de la interacción subsíncrona, el control 6 del convertidor está realizado conforme a la invención tal como se explica en lo que sigue. Se hace referencia a la Fig. 3. Ésta muestra el control 6 del convertidor que actúa sobre el convertidor 5 a través de una unidad de modulación que está realizada como un módulo del ancho de pulso (módulo PWM 56). El convertidor controlado por este módulo PWM 56 emite la potencia a través del transformador 23 de la instalación y de la línea de conexión 3. El control 6 del convertidor comprende un primer canal de regulación 7. Éste está configurado para el control de la entrega de potencia propiamente dicha de la instalación de energía eólica a la red 9 y para el control de la excitación del generador 2. Además, de acuerdo con la invención, está previsto un segundo canal de regulación 8 que está conectado en paralelo al primer canal de regulación 7. Las señales de salida del primer canal de regulación 7 y las del segundo canal de regulación 8 son enlazadas entre sí a través de un miembro de sumación 89 y de esta forma se aplican conjuntamente a una entrada de control del módulo PWM 56.

El primer canal de regulación 7 está configurado de manera en sí conocida con un bucle de regulación 71 externo y un buche de regulación 72 interno. Está antepuesta una unidad de medición con un módulo PLL 70. El módulo PLL genera un valor del ángulo para un vector de campo circundante que gira de forma sincrónica con respecto a la frecuencia de la red. Este ángulo del vector de campo que gira de forma sincrónica con respecto a la frecuencia de la red se designa con la letra θ . El buche de regulación 72 interno está configurado como una regulación orientada al campo, lo que significa que se basa en un sistema de coordenadas que gira conjuntamente. Para ello, en una entrada está conectada una unidad de transformación de coordenadas 73 que realiza una transformación de las magnitudes medidas en un sistema de coordenadas que gira de forma sincrónica con respecto al vector de la red. La señal de salida emitida por ella, es aportada a una unidad de transformación inversa 74 que invierte una transformación inversa a partir del sistema de coordenadas que gira conjuntamente de forma sincrónica con respecto a la frecuencia de la red en el sistema trifásico habitual, utilizado para el control, en el caso de la red de la corriente de giro y la aplica a una entrada del miembro de sumación 89.

El segundo canal de regulación previsto de acuerdo con la invención presenta un núcleo de regulación 84 propio orientado al campo, el cual dispone de una segunda unidad de transformación de coordenadas 82 y de una segunda unidad de transformación inversa de coordenadas 88. La particularidad de la segunda unidad de transformación de coordenadas 82 y de la segunda unidad de transformación inversa de coordenadas 88 estriba en transformar en un sistema de coordenadas propio, que es diferente del sistema de coordenadas que gira de forma sincrónica con la red del primer canal de regulación 7. La posición de frecuencia y de fases del sistema de coordenadas del segundo canal de regulación 8 es, por lo tanto, distinta de la del primer canal de regulación 7. Por consiguiente, resulta una regulación totalmente independiente del segundo canal de regulación 8. Puede ser establecido con precisión en base a la frecuencia en cuanto a perturbaciones subsíncronas, con lo cual se diferencia fundamentalmente del

primer canal de regulación 7 que está diseñado a diferencia de ello para un funcionamiento de forma sincrónica con respecto a la frecuencia de la red.

El segundo canal de regulación 8 comprende, además, una unidad de sincronización de salida 81 que determina los valores angulares necesarios para la determinación del sistema de coordenadas que gira de forma subsincrónica. El valor angular que representa el vector de campo que gira de forma subsincrónica correspondiente se designa como θ_{SS} , y está aplicado a la unidad de transformación de coordenadas 82 y a la unidad de transformación inversa de coordenadas 88. El núcleo regulador 84 propiamente dicho del segundo canal de regulación 8 lo forma un regulador autónomo. En el ejemplo de realización representado presenta dos bloques de regulación 86, 87 que están realizados como miembros de función de adelanto/retraso. Posibilitan una regulación rápida y activa para combatir oscilaciones subsíncronas. Para la eliminación de porciones de frecuencia elevadas perturbadoras, en particular oscilaciones superiores, está antepuesto un filtro paso bajo 85. En la salida del núcleo regulador 84 se encuentran, por consiguiente, señales en un sistema de coordenadas que gira conjuntamente de forma subsincrónica que tras la transformación inversa están aplicadas en el sistema de coordenadas trifásico giratorio mediante la unidad de transformación inversa de coordenadas 88 como señales de ajuste en el convertidor 5. Esto sucede mediante el miembro de sumación 89, el cual suma estas señales a las del primer canal de regulación 7 y aplica el valor sumatorio, así obtenido, conjuntamente a una entrada de control del módulo PWM 56.

En la representación en detalle en la Fig. 5 se representa la acción del segundo canal de regulación sobre el inversor 52 del lado de la red del convertidor 5. El primer canal de regulación 7 utilizado para la regulación habitual está representado en el centro y en la zona inferior de la figura. El segundo canal de regulación 8 añadido de acuerdo con la invención con su segunda unidad de transformación de coordenadas 82 propia y la segunda unidad de transformación inversa de coordenadas 88 propia está representada en la zona superior de la figura. Se puede reconocer claramente que solo las coordenadas invertidas con el vector de campo subsíncrono generado de forma propia (mediante la unidad de transformación inversa de coordenadas 88) están conectadas entonces en el sistema trifásico a través de un punto de sumación (no representado) conjuntamente con las señales de salida del primer canal de regulación 7 sobre la unidad de control del ancho de pulso 56. Esta imagen visualiza claramente la regulación independiente de oscilaciones subsíncronas mediante el segundo canal de regulación propio mediante una regulación activa propia. Ésta trabaja en un intervalo de fases y de frecuencia totalmente diferente al del primer canal de regulación gracias a la segunda transformación de coordenadas propia con el vector de campo que gira de forma subsincrónica (es decir, más bajo que la frecuencia de la red) con el ángulo de fases θ_{SS} . En el caso de que un generador síncrono esté previsto como generador 2, entonces es suficiente para la realización de la invención la provisión del segundo canal de regulación 8 en el inversor 51 del lado de la red, tal como se representa en la Fig. 5.

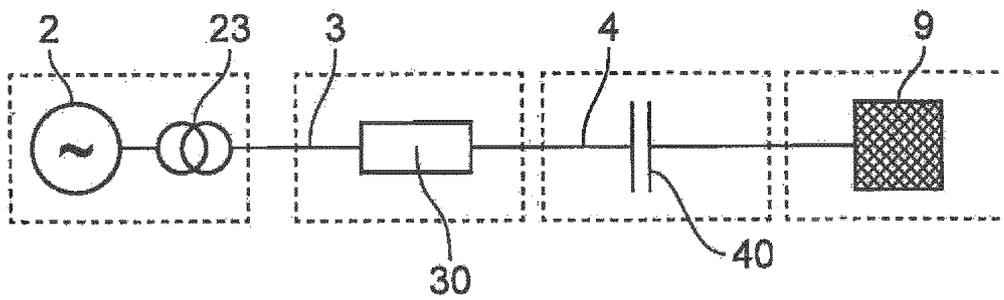
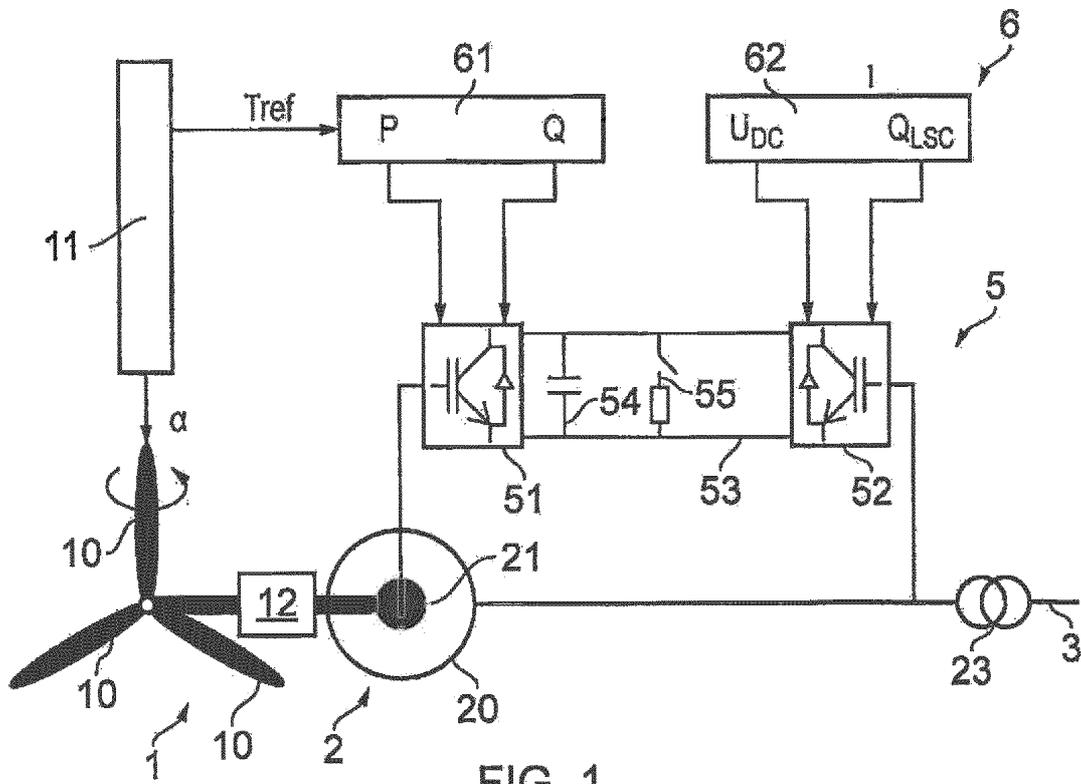
En el caso de que el generador 2 esté realizado como un motor asíncrono doblemente alimentado, entonces, de forma alternativa o adicional, puede estar previsto un segundo canal de regulación 8' en el inversor 51 del lado de la máquina. Esto se representa con detalle en la Fig. 6. De nuevo, en la zona inferior media de la figura está representado el primer canal de regulación 7 habitual, en este caso para el inversor 51 del lado de la máquina. De acuerdo con la invención se ha añadido el segundo canal de regulación 8' que presenta una regulación 84 activa propia que trabaja en un dominio de frecuencia que se desvía del primer canal de regulación 7. Para ello, el segundo canal de regulación 8' comprende, junto a su núcleo de regulación 84, una unidad de transformación de coordenadas 82 propia y una unidad de transformación inversa de coordenadas 88 que son controladas por un vector de campo que gira de forma subsincrónica determinado propio con el ángulo θ_{SS} .

Los efectos alcanzados mediante la regulación activa en un canal de regulación paralelo propio en el caso de combatir el efecto negativo de interacciones subsíncronas (SSI) son considerables. A modo de ejemplo, en la Fig. 7 se representa el desplazamiento de las curvas características, en donde la curva característica designada con I representa el comportamiento sin y la curva característica designada con II representa el comportamiento con la disposición del segundo canal de regulación 8 prevista de acuerdo con la invención. Se reconoce claramente un aumento considerable del intervalo de frecuencias crítico de 15 a 25 Hz. Con ello, se puede alcanzar un aumento claro de la seguridad de funcionamiento.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Instalación de energía eólica con un rotor eólico (1), un generador (2) accionado por el mismo con convertidor (5) para la generación de energía eléctrica que es entregada a una red (9) a través de una línea de conexión (3), un control (6) del convertidor que presenta un primer canal de regulación (7) para el control de la entrega de energía a la red (9) y para la excitación del generador (2) y un segundo canal de regulación (8), distinto del primer canal de regulación (7), caracterizada por que el segundo canal de regulación (8) está realizado como un regulador orientado al campo y para ello presenta una unidad de transformación de coordenadas (82), que esté diseñada de forma subsíncrona y está provista para ello de un sistema de coordenadas (θ_{SS}) circundante con una frecuencia que es cuantitativamente menor que la frecuencia de la red (θ).
- 10 2. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, caracterizada por que el primer canal de regulación (7) está realizado como un regulador orientado al campo con un sistema de coordenadas circundante de forma síncrona a la red.
- 15 3. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1 o 2, caracterizada por que el segundo canal de regulación (8) está conectado en la salida del primer canal de regulación (7), preferiblemente delante de una unidad de modulación (56) para el control de válvulas de corriente del convertidor (5).
4. Instalación de energía eólica según la reivindicación 3, caracterizada por que está previsto un medio de sumación (89) para la conexión.
- 20 5. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que el segundo canal de regulación (8) presenta una unidad de sincronización de salida (PLL) (81) propia que está configurada para un intervalo de frecuencias más bajo que la frecuencia de la red, preferiblemente en el intervalo entre 10% y 80% de la frecuencia de la red.
- 25 6. Instalación de energía eólica según la reivindicación 5, caracterizada por que la unidad de sincronización de salida (81) propia genera un vector de campo (θ_{SS}) subsíncrono, cuya frecuencia es menor que la frecuencia en la red y que está diseñado como magnitud de entrada para una unidad de transformación de coordenadas y una unidad de transformación inversa de coordenadas (82, 88).
7. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que el segundo canal de regulación (8) presenta un núcleo de regulación (84) comprende preferiblemente miembros de adelanto/retraso (86, 87).
- 30 8. Instalación de energía eólica según la reivindicación 7, caracterizada por que el núcleo de regulación (84) comprende un filtro paso bajo (85) antepuesto.
9. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por que el convertidor (5) presenta un inversor (51) del lado del generador y un inversor (52) del lado de la red, en donde solo el inversor (52) del lado de la red presenta un segundo canal de regulación (8), y el generador (2) está realizado preferiblemente como un generador síncrono.
- 35 10. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada por que el generador es un generador asíncrono doblemente alimentado, y tanto el inversor (51) del lado del generador como el inversor (52) del lado de la red presentan en cada caso un segundo canal de regulación (8, 8').
- 40 11. Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica con un rotor eólico (1), un generador (2) accionado por el mismo con convertidor (5) para la generación de energía eléctrica que es entregada a una red (9) a través de una línea de conexión (3) y un control (6) del convertidor que efectúa una regulación de la entrega de energía del generador (2) a través de un primer canal de regulación (7), caracterizado por
compensar oscilaciones subsíncronas mediante un segundo canal de regulación (8) que realiza una regulación orientada al campo, mediante
 - 45 - realización de una transformación de coordenadas (82) propia para un intervalo de frecuencias subsíncrono,
 - regulación de las oscilaciones mediante un núcleo de regulación (84),
 - realización de una transformación inversa de coordenadas (88) para la generación de señales de ajuste, y
 - enlace (89) de estas señales de ajuste con señales de salida del primer canal de regulación (7) para el control conjunto del convertidor (5).

12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por que se utiliza una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 10.



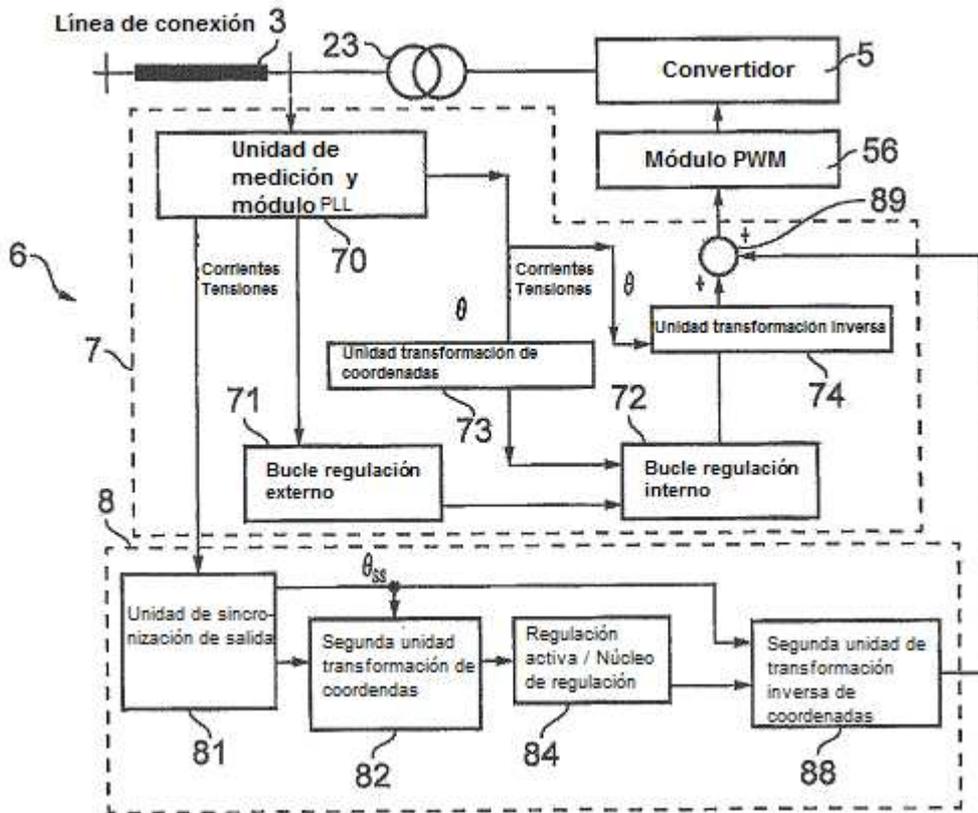


FIG. 3

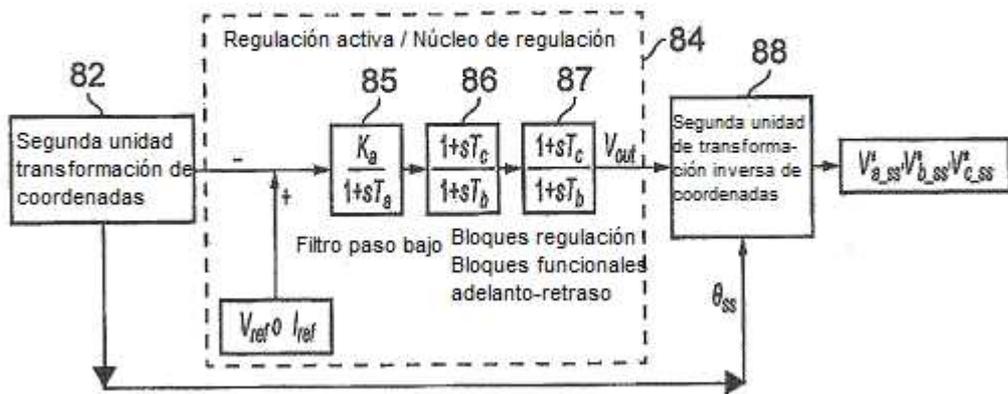


FIG. 4

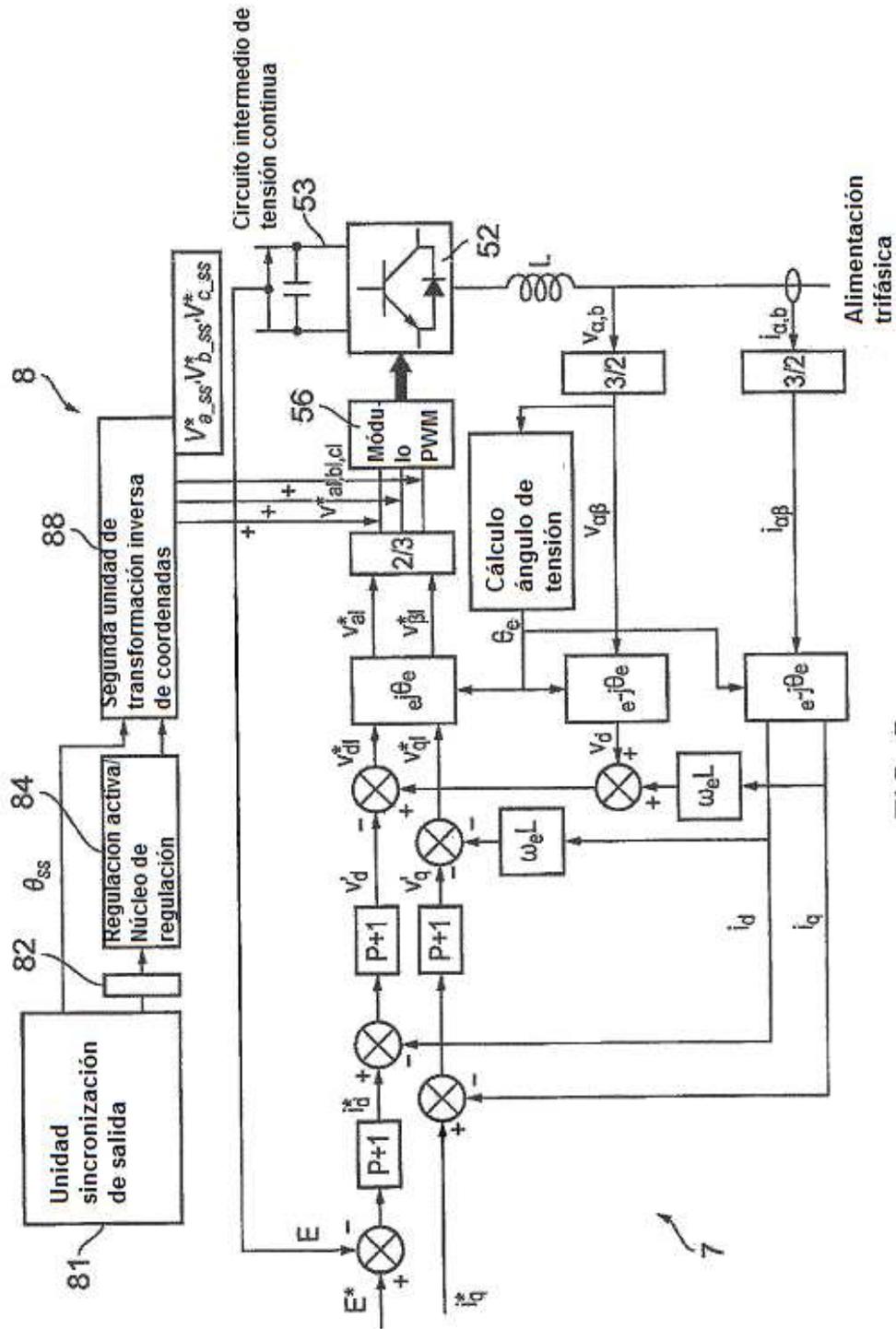


FIG. 5

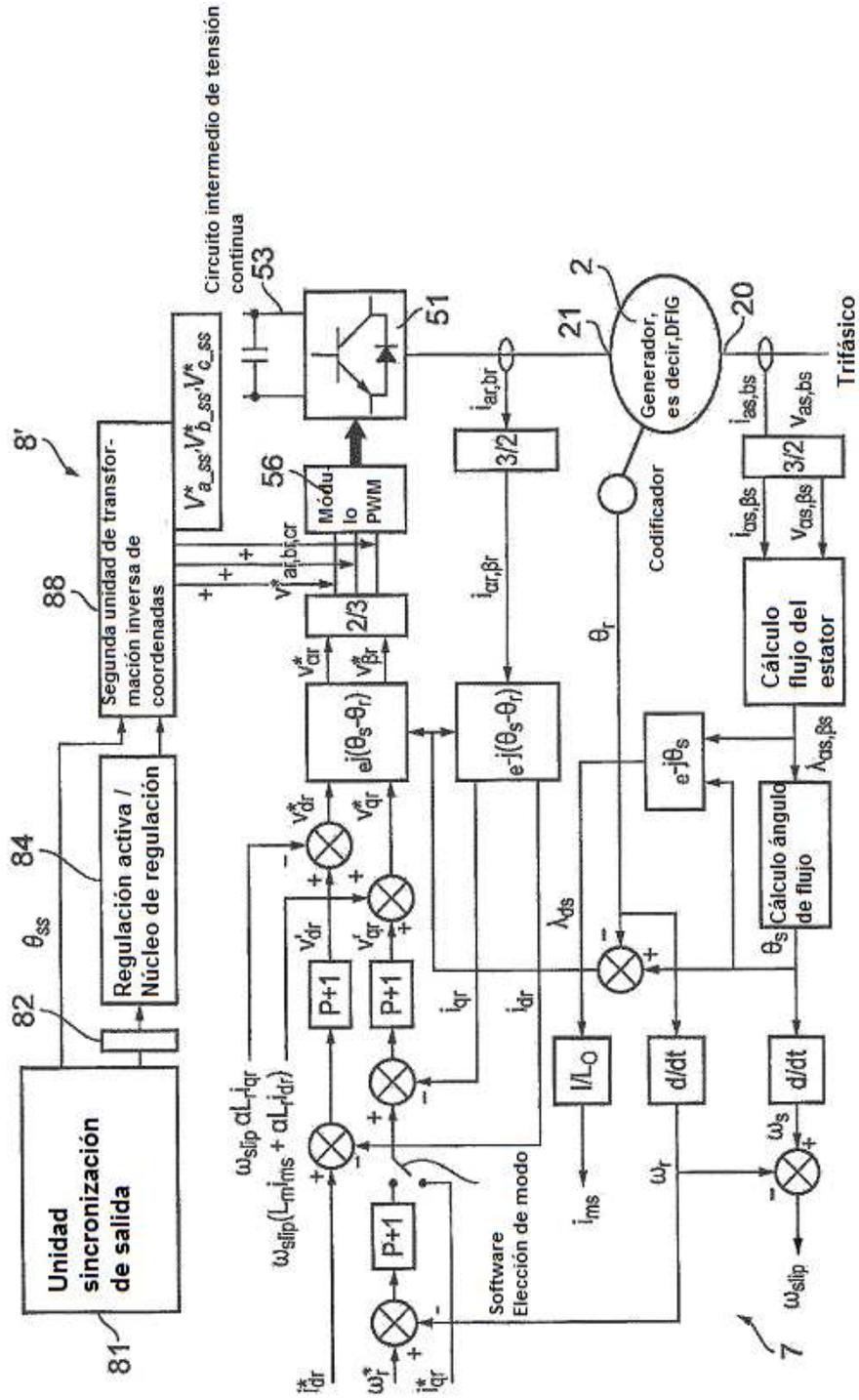


FIG. 6

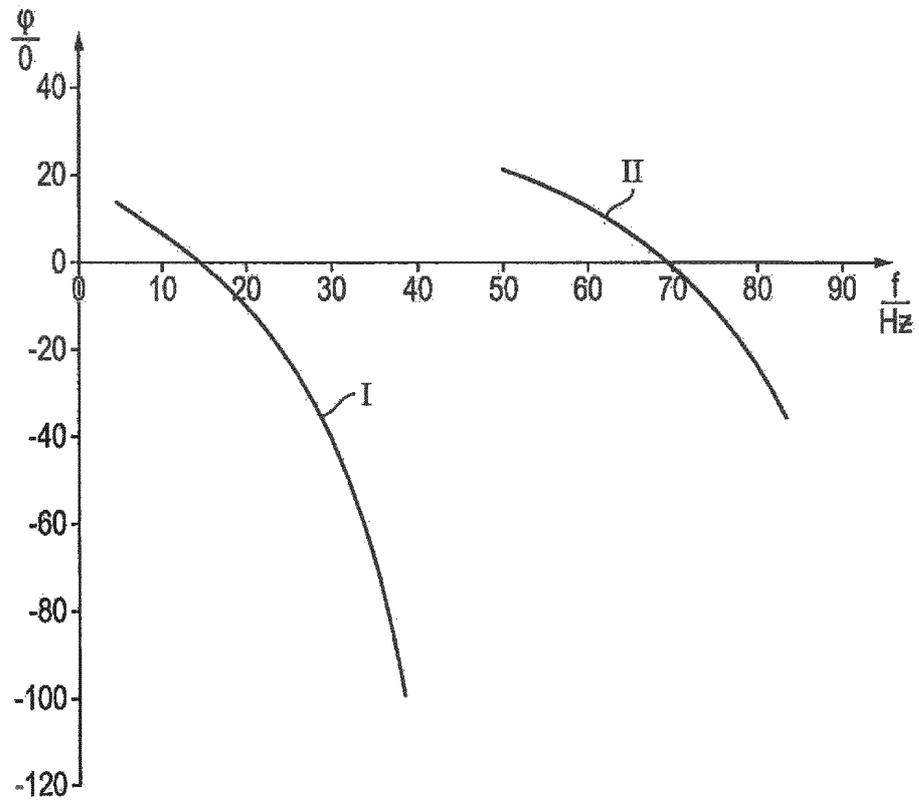


FIG. 7