

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 761 597**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02P 23/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.12.2014 PCT/EP2014/078351**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2015 WO15106918**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2014 E 14815699 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 3095168**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de regulación y/o control para el funcionamiento de una instalación de energía eólica y/o de un parque, así como instalación de energía eólica y parque eólico**

30 Prioridad:
16.01.2014 DE 102014200737

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.05.2020

73 Titular/es:
**WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Borsigstrasse 26
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:
BUSKER, KAI

74 Agente/Representante:
ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 761 597 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

Procedimiento y dispositivo de regulación y/o control para el funcionamiento de una instalación de energía eólica y/o de un parque, así como instalación de energía eólica y parque eólico

5

La presente invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica y/o de un parque y a un dispositivo de regulación y/o control para el funcionamiento de una instalación de energía eólica y/o de un parque eólico. Además, la presente invención se refiere a una instalación de energía eólica y a un parque eólico.

10

En general, una instalación de energía eólica y/o un parque eólico se puede definir como un generador de energía eólica, es decir, una instalación de generador de energía, para la generación de energía a partir de energía eólica, que está configurado en particular para la inyección de potencia eléctrica en una red de alimentación eléctrica.

15 Se conoce generar potencia eléctrica por medio de instalaciones de energía eólica e inyectarla en una red de alimentación eléctrica. Una instalación de energía eólica correspondiente, es decir, un generador de energía eólica individual, se muestra esquemáticamente en la fig. 1. De forma creciente, en lugar de hacer funcionar instalaciones individuales, también se erigen varias instalaciones de energía eólica en un parque eólico, que puede inyectar una potencia correspondientemente grande en la red de alimentación. Un parque eólico semejante se muestra
20 esquemáticamente en la fig. 2 y se destaca en particular por un punto de conexión a red común, a través del que todas las instalaciones de energía eólica del parque eólico inyectan en la red de alimentación eléctrica. No obstante, el parque eólico - designado entonces como parque mixto - también puede comprender instalaciones de energía eólica individuales con un respectivo punto de conexión a red separado; un parque mixto también puede comprender un número de parques eólicos y un número de instalaciones de energía eólica.

25

Los parques eólicos pueden inyectar en comparación con las instalaciones de energía eólica no sólo una potencia comparativamente elevada en la red de alimentación eléctrica, sino que presentan básicamente un potencial de regulación correspondientemente grande para la estabilización de la red de alimentación eléctrica. En este sentido, p. ej. la solicitud americana US 7,638,893 propone que, por ejemplo, el operador de la red de alimentación eléctrica
30 le puede dar al parque eólico una especificación de potencia para reducir la potencia del parque a inyectar, a fin de tener de este modo una posibilidad de control adicional para su red de alimentación. Tales intervenciones de regulación pueden ser débiles a este respecto según el tamaño del parque eólico. Además, pueden ser difíciles de manejar debido el hecho de que las instalaciones de energía eólica y también los parques eólicos son unidades de generación descentralizadas, ya que están distribuidas sobre un territorio en una superficie proporcionalmente
35 grande, en tanto que se hace funcionar la respectiva red de alimentación eléctrica. En "Control System Fundamentals" von Jiann-Shiou Yang et al. también se trata la problemática de la regulación, p. ej. en el contexto de la saturación de los reguladores PI o PID. Se da a conocer una visión de conjunto de los enfoques clásicos.

40

Además, en algunos países, como por ejemplo en Alemania, hay pretensiones de sustituir las centrales eléctricas de gran potencia convencionales, en particular centrales nucleares, por generadores de energía renovables, como instalaciones de energía eólica. Pero, a este respecto, se plantea el problema de que con la desconexión y "salida de la red" de una central eléctrica de gran potencia también se pierde su efecto estabilizador de la red. Las unidades de generación de energía restantes o recién incorporadas necesitan por consiguiente tener en cuenta al menos esta modificación de la estabilidad. Es problemático que incluso en el caso de una instalación de energía eólica que
45 inyecta en la red, o en el caso de un parque eólico que inyecta en la red, eventualmente es demasiado lento el tiempo de reacción para la creación de un efecto estabilizador de red. Esto es básicamente un desafío dado que una instalación de energía eólica o un parque eólico es un generador de energía eólica dependiente de la oferta actual de viento, es decir, es un generador de potencia. Cuando además solo se da una posibilidad limitada de reaccionar rápidamente respecto a las condiciones del viento actuales, esto dificulta o impide el ejercicio de los efectos
50 estabilizadores de red.

Es deseable una relación de estabilización de la red ante estos antecedentes con una potencia suministrada en la red de alimentación eléctrica. Es deseable direccionar al menos uno de los problemas mencionadas y en particular se debe crear una solución, por medio de la que un parque eólico puede mejorar un sostenimiento de una red de
55 alimentación eléctrica; esto se puede usar para crear una red de alimentación lo más estable posible. Al menos se debe proponer una solución alternativa a los enfoques previos en este sector.

60

La Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha investigado en la solicitud de prioridad el siguiente estado de la técnica: DE 10 2005 032 693 A 1 y BOHN, C.; ATHERTON, D.P.: An analysis package comparing PID anti-windup strategies. IEEE Control Systems, Vol. 15, N°. .2, pág. 34-40, abril de 1995, DOI: 10.1109/37.375281.

El objetivo de la invención es especificar un dispositivo y un procedimiento, por medio de los que se pueda regular

una potencia suministrada de una instalación de energía eólica y/o de un parque eólico de manera mejorada. En particular el objetivo de la invención es perfeccionar un dispositivo y un procedimiento de manera que se pueda regular de forma comparativamente exacta la potencia suministrada, por un lado, de manera fiable, pero sin embargo se realice con tiempo de reacción mejorado en condiciones de viento críticas; esto en particular para conseguir además de manera mejorada un efecto estabilizador de la red, pero en cualquier caso no limitar o solo de forma insignificante las desarrollos funcionales razonables para ello de una instalación de energía eólica.

El objetivo con vistas al procedimiento se consigue según la invención con un procedimiento según la reivindicación 1. El concepto de la invención también conduce a un dispositivo de regulación y control según la reivindicación 10.

El objetivo con vistas al dispositivo se consigue según la invención con una instalación de energía eólica según la reivindicación 12 y un parque eólico según la reivindicación 13.

La invención parte de un concepto para el funcionamiento de una instalación de energía eólica y/o de un parque eólico, donde una potencia suministrada se regula por medio de al menos un módulo de regulación de potencia de un dispositivo de regulación y/o control, que presenta las etapas:

- predeterminación de un valor de entrada de regulación de potencia,
- determinación de un valor de salida de regulación de potencia a partir del valor de entrada de regulación de potencia,
- emisión de un valor de salida de regulación de potencia.

Según la invención está previsto que el módulo de regulación de potencia presente un regulador P y un regulador I, así como un limitador de componente I.

Según la invención el concepto prevé para ello que

- un primer valor de trabajo del valor de entrada de regulación de potencia se procese en el regulador P formando una componente P,
- un segundo valor de trabajo del valor de entrada de regulación de potencia se procese en el regulador I formando una componente I, y
- un tercer valor de trabajo del valor de entrada de regulación de potencia se procesa en el limitador de componente I formando una componente I limitada, y
- el valor de salida de regulación de potencia se determina con la componente I limitada y la componente P.

En particular se parte en cuestión de que una instalación de energía eólica representa un sistema regulado, que tiene un comportamiento proporcionalmente lento y en este sentido también es accesible un enfoque de regulación bastante lento. La invención parte además de la consideración de que bajo las condiciones del entorno determinadas fuertemente modificadas en una instalación de energía eólica, como p. ej. vientos racheados o similares, en particular por motivos de estabilización de red se puede producir la necesidad de que la instalación de energía eólica se deba bloquear de forma proporcionalmente rápida; esto debe ser válido en principio también para aquellos casos donde la instalación de energía eólica se tenga que regular a un nivel elevado de forma proporcionalmente rápida. Por otro lado, la invención ha reconocido que una componente I de un regulador I podría trabajar en el módulo de regulación de potencia de forma comparativamente exacta, no obstante, eventualmente demasiado lenta. Partiendo de este conocimiento, la invención prevé que esté configurado un limitador de componente I para limitar la componente I. Después la componente I limitada y la componente P de un valor de trabajo de un valor de entrada de regulación de potencia se le suministran a la determinación de un valor de salida de regulación de potencia.

Perfeccionamientos ventajosos de la invención se pueden deducir de las reivindicaciones dependientes y especifican en detalle posibilidades ventajosas de implementar el concepto de la invención en el marco de perfeccionamiento y bajo indicación de otras ventajas.

En particular un perfeccionamiento ha reconocido que se puede realizar una reducción brusca de la componente hasta un rango de una componente I que se sitúa por debajo de un valor de reserva. El valor de reserva debe ser una componente I que es decisiva para una reserva de una potencia suministrada. A este respecto, en particular la diferencia entre un valor máximo de la componente I y el valor de reserva de la componente I debe ser tan grande que la instalación de energía eólica todavía tenga suficiente potencial para la elevación brusca de un valor de salida de regulación de potencia. En otras palabras, la invención ha reconocido que una modificación muy brusca de la componente I, en particular una bajada o también eventualmente, una elevación de la componente I, se puede realizar bajo limitación de la componente I. La limitación se puede realizar en una medida que no se debe o podría producir de todos modos por una instalación de energía eólica bajo especificaciones de estabilización de la red.

En particular un perfeccionamiento ha reconocido que una limitación de componente I se realiza ventajosamente de manera que la componente I se reduce bruscamente a un valor lo más elevado posible para la instalación de energía eólica, es decir, se reduce bruscamente a un valor para la instalación de energía eólica que es el máximo posible.

- 5 En particular un perfeccionamiento ha reconocido que, para el control de un parque eólico, la componente I se puede modificar a aquel valor más elevado de aquella instalación de energía eólica que presenta el valor actual más elevado de la componente I. Esto conduce a que la componente I no aumenta o cae más rápidamente de lo que una instalación de energía eólica es capaz de hacerlo actualmente o en general.
- 10 Por su lado, de este modo se impide que la componente I se reduzca demasiado y de este modo se desplome demasiado fuertemente la potencia. Por otro lado, se impide que la componente I se eleve demasiado y de este modo aumente demasiado fuertemente la potencia. Sin una componente I limitante semejante se reajustaría o eventualmente oscilaría el valor de salida de regulación de potencia real durante un período de tiempo comparativamente largo en el caso de una modificación rápida de la potencia del parque eólico. Una reacción comparativamente lenta semejante de una componente PI ventajosa en sí -- es decir, una combinación de una componente I y una componente P en un módulo de regulación por medio de un circuito en paralelo o en serie de la componente I (de un regulador I) y una componente P (de un regulador P) -- se puede acortar en este sentido de forma temporal.
- 15 Con vistas a la estructura del dispositivo de regulación y control, este presenta preferentemente un módulo de regulación de potencia, con un regulador P y con un regulador I y además con un limitador de componente I. Preferentemente la componente P del regulador P se determina en paralelo a la componente I del regulador I; es decir, se conecta en paralelo el regulador P y regulador I.
- 20 Preferentemente la componente I se determina a partir del valor de entrada de regulación de potencia y la componente I limitada se determina entonces a partir de la componente I. En particular en el módulo de regulación de potencia, el regulador I y el limitador de componente I están acoplados en paralelo al regulador P y el limitador de componente I en serie después del regulador I.
- 25 En el marco de un perfeccionamiento especialmente preferido, la componente I limitada se determina por medio de una limitación de pendiente y/o limitación de amplitud de la componente I. Preferentemente la amplificación de un regulador, en particular la amplificación del regulador P y/o la amplificación del regulador I y/o la amplificación del limitador de componente I está limitada a un máximo del 20%.
- 30 Preferentemente el procedimiento de funcionamiento en el marco de la regulación comprende en primer lugar al menos una de las etapas: parametrización del módulo de regulación de potencia, y/o medición de los parámetros de red y luego predeterminación del valor de entrada de regulación de potencia. Para detalles ventajosos de una parametrización y/o medición de parámetros de red se remite a la descripción siguiente del dibujo.
- 35 Preferentemente se predetermina el valor de entrada de regulación de potencia en función de la frecuencia de red; es decir, como una función de la frecuencia de red. En particular se regula una potencia activa y/o potencia reactiva de la potencia suministrada. En el marco de un perfeccionamiento especialmente preferido de la invención está previsto que el valor de salida de regulación de potencia se corresponda con una potencia activa. La potencia activa de la potencia suministrada se regula al menos según una frecuencia de red de la red de alimentación eléctrica.
- 40 Otras particularidades y ventajosas de la invención se dan a conocer en los ejemplos de realización según el dibujo. A continuación, se describen ejemplos de realización de la invención mediante el dibujo. Esto no debe representar necesariamente a escala los ejemplos de realización, mejor dicho, el dibujo, donde es útil para la explicación, está realizado de forma esquematizada y/o ligeramente distorsionada. Con vistas a compleciones de las enseñanzas reconocibles directamente del dibujo se remite al estado de la técnica especializado.
- 45
- 50

Otras ventajas, características y detalles de la invención se deducen de la siguiente descripción de los ejemplos de realización preferidos, así como mediante el dibujo; este muestra en:

55 Fig. 1 esquemáticamente una instalación de energía eólica;

Fig. 2 esquemáticamente un parque eólico;

Fig. 3 esquemáticamente un control del parque eólico en conexión con un parque eólico, p. ej. de la fig. 2;

60

Fig. 4 una estructura de principio de una determinación interna del valor predeterminado para un valor de consigna (aquí un valor de consigna de potencia activa P-CONSIGNA para una potencia activa en el marco de una regulación

de potencia activa);

Fig. 5 una estructura general de un regulador con un módulo de regulación, que se puede usar de forma parametrizable de manera especialmente preferida como módulo de regulación de potencia suministrada (en particular módulo de regulación de potencia activa o módulo de regulación de potencia reactiva), en particular según una determinación interna del valor predeterminado según la fig. 4;

Fig. 6 el principio de una regulación de potencia activa de la fig. 5 con un módulo de regulación de potencia activa en una forma de realización especialmente preferida según el concepto de la invención;

Fig. 7 el desarrollo de una potencia real en comparación a una potencia de consigna;

Fig. 8 el desarrollo representado en la función de salto descendente de una potencia activa de consigna P-Consigna.

La figura 1 muestra una instalación de energía eólica 100 con una torre 102 y una góndola 104. En la góndola 104 está dispuesto un rotor 106 con tres palas de rotor 108 y un buje 110. El rotor 106 se pone en movimiento de giro durante el funcionamiento debido al viento y, de este modo, acciona un generador en la góndola 104.

La fig. 2 muestra un parque eólico 112 con tres instalaciones de energía eólica 100, a modo de ejemplo, que pueden ser iguales o diferentes. Las tres instalaciones de energía eólica 100 son, por tanto, representativas de prácticamente cualquier número de instalaciones de energía eólica de un parque eólico 112. Las instalaciones de energía eólica 100 proporcionan su energía, en particular, la corriente generada a través de una red eléctrica del parque eólico 114. A este respecto se suman las corrientes o potencias generadas por las instalaciones de energía eólica 100 individuales y la mayoría de las veces está previsto un transformador 116, que eleva la tensión en el parque para inyectarla en la red de suministro 120 en el punto de conexión a red 118, también se designa en general como PoC. La fig. 2 es solo una representación simplificada de un parque eólico 112, que, por ejemplo, no muestra ningún control, aunque naturalmente existe un control. Por ejemplo, la red del parque eólico 114 también puede estar conformada de manera diferente, estando, por ejemplo, presente un transformador a la salida de cada instalación de energía eólica 100, por nombrar solo otro ejemplo de realización.

La fig. 3 muestra una visión de conjunto de un sistema de control del parque eólico 130 en una estructura esquemática del parque eólico 112 con un número de instalaciones de energía eólica WEA. El control del parque eólico 131 es una unidad de control y regulación del parque eólico de orden superior. El punto de referencia de este control y/o regulación es un punto de referencia definida específicamente al proyecto. Habitualmente este es idéntico al punto de conexión a red 118 del parque eólico 112 en la red de media o alta tensión; es decir, la red de alimentación 120. Habitualmente el punto de conexión a red 118 es una central transformadora o una estación de transferencia. Cada una de las instalaciones de energía eólica WEA_i (aquí $i = 1...4$) entrega la potencia activa y reactiva P_i, Q_k (aquí $i = 1...4$), que se entregan en la red del parque eólico 114 y como potencia activa y reactiva global P, Q se entrega a la red de alimentación eléctrica a través del transformador 116 en el punto de conexión a red 118 para la entrega.

El control del parque eólico 131 tiene la posibilidad de la medición de tensión y corriente en el punto de conexión a red 118.

En cuestión un sistema de control del parque eólico 130 está formado por una unidad central (hardware y software) de un control del parque eólico 131 en el punto de conexión a red 118 y un control del parque eólico SCADA 132, que están conectados por control también con un cuarto de control 133 del operador de red. La comunicación de datos con las instalaciones de energía eólica WEA_i se realiza a través de un bus de datos propio, el bus de control del parque eólico. Este está construido en paralelo al bus Scada. El control del parque eólico 131 requiere cíclicamente información de las instalaciones de energía eólica WEA_i individuales y la debe mantener temporalmente en la memoria para cada una de las instalaciones de energía eólica WEA_i (aquí $i = 1...4$).

Se pueden establecer prioridades entre el control del parque eólico 131 y un control del parque eólico SCADA 132. La instalación de energía eólica 100 puede inyectar en un punto de conexión a red 118 sin control o regulación de orden superior. Sin embargo, han probado su eficacia dos controles y/o regulaciones del parque eólico de orden superior 131, 132. Por ello hay distintas combinaciones para la inyección. Los ajustes para las diferentes funciones se efectúan en una placa de circuitos impresos de control de la instalación de energía eólica 100 por medio de un dispositivo de entrada, como p. ej. una pantalla táctil o un PC. Si no está activado ningún control del parque eólico y/o regulación de orden superior (p. ej. control del parque eólico 131 o control del parque eólico SCADA 132) se usan las especificaciones establecidas de forma fija en la placa de circuitos impresos de control. Si se debe usar un control del parque eólico y/o regulación, este se debe activar como ajuste a través de los parámetros en la placa de circuitos impresos de control. A partir de estos ajustes se producen cuatro combinaciones distintas:

- sin regulación del parque

- control del parque eólico (y/o regulación) 131

5

- control del parque eólico SCADA (y/o regulación) 132

- control del parque eólico (y/o regulación) 131 y control del parque eólico SCADA (y/o regulación) 132

10 Los controles / reguladores de orden superior pueden influir en al menos tres magnitudes esenciales distintas:

- máxima potencia activa de la instalación (P_{max}),

- la potencia reactiva, entre ellas figuran también los controles como los de “Q respecto P”;

15

- y la potencia de reserva temporal de frecuencia (esto en el caso de regulación de frecuencia activada).

En cada instalación de energía eólica 100 se instala una unidad receptora, que está designada aquí como interfaz de instalación de energía eólica 103. La interfaz de instalación de energía eólica 103 es la interfaz del control del parque eólico 131 en la instalación de energía eólica WEAI. Como interfaz receptora en cada una de las instalaciones de energía eólica WEAI sirve una placa de circuitos impresos de la interfaz de instalación de energía eólica 103. Recibe los valores de consigna predeterminados por el control del parque eólico 131, los convierte y transmite la información a las instalaciones de energía eólica WEAI. Esta interfaz de instalación de energía eólica 103 recibe las magnitudes de ajuste del control del parque eólico 131 y las transmite a la instalación de energía eólica WEAI. Además, asume la supervisión de la comunicación de datos del bus de control del parque eólico 113 y organiza el modo por defecto en un bus de datos perturbado o en el caso de caída del control del parque eólico 131.

El control del parque eólico 131 mide la tensión U y la corriente I en el punto de conexión a red 118. Una placa de circuitos impresos de control con entradas analógicas y microprocesadores en el control del parque eólico analiza la red y calcula las tensiones, corrientes y potencias correspondientes.

El control del parque eólico 131 pone a disposición un cierto rango de trabajo, que se puede ajustar con parámetros relevantes del parque eólico o hardware técnicos referentes al hardware. Algunos de los ajustes se refieren, por ejemplo, a las indicaciones de la tensión nominal y/o corriente nominal en el nivel de baja tensión, el nivel de media tensión y/o el nivel de alta tensión, la indicación de una potencia activa nominal del parque, la indicación de una potencia reactiva nominal del parque, la indicación de la frecuencia de red, la indicación del número de instalaciones de energía eólica en el parque, así como diversos ajustes de funciones especiales, especificaciones de valores de consigna e indicaciones de la comunicación de datos o control.

Además, se pueden establecer los siguientes parámetros, como: constantes de tiempo del filtro, opciones de reinicialización del regulador, error de red, subtensión/sobretensión, rampas del valor predeterminado; también se pueden definir los límites que se permiten una vez como valor predeterminado o, por ejemplo, potencias mínimas y máximas de una instalación de energía eólica, así como limitaciones de valores iniciales para una potencia reactiva, potencia activa, ángulo de fase, como también valores de limitación para las especificaciones del valor de consigna máximas o mínimas referente a tensión, potencia activa y reactiva, ángulo de fase, como también valores de limitación para las especificaciones del valor de consigna desde el lado exterior.

También se pueden efectuar todos los ajustes de especificaciones estándares del control del parque eólico 131; para cada valor predeterminado hay un valor predeterminado estándar

50

Los reguladores están estructurados en dos partes básicas, donde cada una puede tener, por ejemplo, una estructura de regulación general de la fig. 5 y preferentemente según la fig. 6:

1. Regulación y/o control de la potencia activa: regulador de potencia activa, regulador de gradiente de potencia, regulador de frecuencia de potencia, control de potencia, y otros.

55

2. Regulación y/o control de la potencia reactiva: regulador de tensión, regulador de potencia reactiva, regulador de ángulo de fase, regulador especial, control de potencia reactiva.

El control del parque eólico 131 está construido de modo que se pueden seleccionar distintos tipos de regulador, en particular para distintos tipos básicos para la potencia activa:

60

Tipo 1: sin regulador de potencia activa (solo especificación de una potencia máxima y/o de reserva)

Tipo 2: control de potencia activa (especificación directa de una potencia máxima y/o de reserva)

5 Tipo 3: regulador de potencia activa sin dependencia de frecuencia de la frecuencia de red (sin funcionalidad - P(f))

Tipo 4: regulador de potencia activa con dependencia de frecuencia de la frecuencia de red (con funcionalidad - P(f))

Al seleccionar un regulador con una función P(f) del control del parque eólico se desactiva en parte la regulación de frecuencia de la instalación. El control se sitúa en el instante en el control del parque eólico 131. Es preferible una parametrización del control del parque eólico como regulador P(f), es decir, la potencia suministrada, en particular potencia activa y/o potencia reactiva, es una función de la frecuencia de red de la red de alimentación eléctrica 120. Al usar una función P(f) de control del parque eólico se debe prestar atención a la parametrización y especificación correctas de los valores especificados. Para ello puede estar seleccionado y parametrizado un regulador con característica P(f) correspondiente; los reguladores del control del parque eólico individuales tienen por consiguiente diferentes funcionalidades. La potencia de consigna del parque eólico y transmitir una la interfaz externa. La interacción entre el valor de potencia del parque eólico y la función P(f) está establecido en los reguladores de control del parque eólico individuales. Además, una regulación P(f) del control del parque eólico solo debería estar activa cuando está seleccionado el regulador correspondiente y el control del parque eólico puede establecer una comunicación de datos activa e íntegra con las instalaciones. Por ejemplo, en las fig. 5 y fig. 6 se muestra una estructura preferida de un regulador de potencia, en particular regulador de potencia activa.

En general los reguladores se diferencian según el comportamiento continuo o discontinuo. A los reguladores continuos más conocidos pertenecen los "reguladores estándares" con comportamiento P, PI, PD y PID. Además, bajo los reguladores constantes hay distintas formas especiales con comportamiento adaptado, para poder regular sistemas regulados difíciles. A ello pertenecen, por ejemplo, sistemas regulados con tiempos muertos, con comportamiento no lineal, con deriva de los parámetros del sistema y perturbaciones conocidas y desconocidas. Muchos sistemas regulados no estables, que se pueden originar, por ejemplo, por efectos de realimentación positiva (acoplamiento), se pueden dominar igualmente con reguladores lineales clásicos. Los reguladores continuos con comportamiento analógico o digital se pueden usar para sistemas regulados lineales. Los reguladores digitales tienen la ventaja de una adaptación universal a las tareas de regulación más diferentes, no obstante, ralentizan el procedimiento de regulación por el tiempo de exploración de la magnitud de regulación y tiempo de cálculo durante el uso en el caso de sistemas regulados rápidos.

35 Un regulador lineal continuo conocido en sí es el regulador P (para la determinación de una componente P), cuya respuesta de salto en la componente P se designa con K_p . El regulador P se compone exclusivamente de una componente proporcional de la amplificación K_p . Gracias a su señal de partida u es proporcional a la señal de entrada e . El comportamiento de transmisión dice:

40
$$u(t) = K_p * e(t). \text{ La función de transmisión dice: } U/E(s)=K_p$$

El regulador P tiene así una amplificación seleccionada de K_p (en la fig. 6 la amplificación está indicada / limitada con el 20 % y la componente P está designada correspondientemente con K_p20). Debido a la falta de comportamiento temporal, el regulador P reacciona directamente, no obstante, está limitado su uso ya que la amplificación se debe reducir según el comportamiento del sistema regulado. Además, se mantiene un error de regulación de una respuesta de salto después de la oscilación transitoria de la magnitud de regulación como "desviación de regulación permanente", cuando no está contenido un elemento I en el sistema.

Un regulador conocido en sí es el regulador I (para la determinación de una componente I), cuya respuesta de salto se designa en la componente I con K_I . Un regulador I (regulador integrador, elemento) actúa mediante integración temporal de la desviación de regulación $e(t)$ sobre la magnitud de ajuste con la ponderación por el tiempo de reajuste T_N . La ecuación integral de ello dice: $u(t)=1/T_N \int_0^t e(f)dt'$. La función de transmisión dice: $U/E(s)=1/(T_N * s) = K_I/s$. La amplificación es $K_I=1/T_N$.

55 Una diferencia de regulación constante $e(t)$ conduce desde un valor inicial de la salida $u_1(t)$ al aumento lineal de la salida $u_2(t)$ hasta su limitación. El tiempo de reajuste T_N determina el gradiente del aumento. Así p. ej. $u(t) = K_I * e(t) * t$, para $e(t) = \text{constante}$. El tiempo de reajuste, por ejemplo, $T_N = 2 \text{ s}$ significa que en el instante $t = 0$ el valor inicial $u(t)$ ha alcanzado tras 2 s la magnitud del valor de entrada constante $e(t)$. El regulador I es un regulador lento y exacto; mediante su amplificación inacabada (teóricamente). No deja una desviación de regulación permanente. No obstante, solo se puede ajustar una amplificación débil K_I o una gran constante de tiempo T_N (en la fig. 6 la amplificación está indicada / limitada con el 20% y la componente I está designada correspondientemente con K_I20).

Se conoce el así llamado efecto wind-up en el caso del comportamiento de señales grandes. Cuando en el regulador I se limita la magnitud de ajuste mediante el sistema regulado, aparece un así llamado efecto wind-up. A este respecto, la integración del regulador sigue funcionando sin que aumente la magnitud de ajuste. Si la desviación de regulación se vuelve más pequeña, en el retorno se origina un retraso indeseado de la magnitud de ajuste y por consiguiente la magnitud de regulación. A ello se puede oponer con la limitación de la integración a los límites de magnitudes de ajuste (anti-wind-up). Como medida anti-wind-up posible se congela la componente I al alcanzar la limitación de magnitud de entrada al último valor (p. ej. mediante bloqueo del elemento I). Como en el caso de cada efecto de limitación dentro de un sistema dinámico, el regulador se comporta de forma no lineal. El comportamiento del circuito de regulación se debe examinar mediante cálculo numérico.

En el marco de un regulador PI (proportional-integral-controller) hay componentes del elemento P KP y del elemento I con la constante de tiempo T_N. Se puede definir tanto a partir de la estructura en paralelo o de una estructura en serie. El término del tiempo de reajuste T_N procede de la estructura en paralelo del regulador. La ecuación de integración del regulador PI en la estructura en paralelo:

$$u(t)=K_P [e(t)+1/T_N \text{INT} (0..t) e(t') dt']$$

La función de transmisión de la estructura en paralelo dice:

$$U/E(s)=K_P+K_P/(T_N * s) = K_P (1 + 1/T_N * s)$$

Si la expresión entre paréntesis de la ecuación se lleva a un denominador común, se origina la representación de producto en la estructura en serie: $U/E(s)=K_P * (T_N * s+1)/ (T_N * s)$

KPI = KP / T_N es la amplificación del regulador PI. A partir de esta representación de producto de la función de transmisión se ve que dos sistemas de regulación como sistemas individuales se han convertido en una estructura en serie. En este caso se trata de un elemento P y un elemento I con la amplificación KPI, que se calcula a partir de los coeficientes KP y T_N. En la tecnología de señalización, el regulador PI actúa frente al regulador I de modo que después de un salto de entrada se pone delante su efecto en el tiempo de reajuste T_N. Mediante la componente I se garantiza la exactitud estacionaria, la desviación de regulación se vuelve cero después de la oscilación transitoria de la magnitud de regulación. Así no se produce una desviación de regulación en el caso de valor de consigna constante: Mediante el elemento I se vuelve cero la desviación de regulación en el estado estacionario con valor de consigna constante. En un elemento PI sin diferenciación no se origina un retardo parásito en la implementación del regulador en la estructura en paralelo. Debido a un posible efecto wind-up mediante la limitación del sistema regulado de la magnitud de ajuste u(t) se puede pretender la implementación en virtud del circuito del regulador PI en la estructura en paralelo. El regulador PI es un regulador lento, dado que la ventaja adquirida por el elemento-I de evitar una desviación de regulación estacionaria también tiene la desventaja de que se incorpora un lugar de polo con -90° de ángulo de fase en el círculo de regulación abierto, lo que significa una reducción de la amplificación de lazo KPI. Por lo tanto, el regulador PI no es un regulador rápido.

La base de un control del parque eólico 131 es, según se ve en la fig. 3, la medición de red, preferentemente bajo ajuste de constantes de tiempo del filtro. El control del parque eólico 131 mide en el punto de conexión a red 118 tres tensiones de red (respecto al conductor neutro o el potencial de tierra) y tres corrientes de fase. A partir de ello se forma un fasor espacial y se filtra conforme a la calidad de red. Este filtro se puede ajustar con una constante de tiempo del filtro y una serie de parámetros.

La estructura de regulación básica puede recurrir a los así denominados módulos, de los que uno se muestra - en general en la fig. 5 y según el concepto de la invención en la fig. 6 - para el ejemplo de un regulador de potencia activa. Un número de módulos encadenados semejantes u diferentes uno tras otro puede formar entonces la función necesaria para el respectivo proyecto. Los así denominados valores predeterminados 404 (también "setpoints") son preferentemente valores de consigna para los reguladores. El control del parque eólico 131 ofrece para todos los valores de consigna relevantes un valor, así p. ej. un valor de consigna de tensión, un valor de consigna de potencia reactiva, un valor de consigna de ángulo de fase (Phi), un valor de consigna de potencia activa, un valor de consigna de reserva de potencia, en particular en función de la frecuencia de red (función P(f)).

Para cada valor de consigna se establecen límites (valores mín.-máx.) en el control del parque eólico 131. La especificación de valores de consigna semejantes se puede predeterminar directamente en el control del parque eólico 131 o transmitirse a través de una interfaz externa. Para la especificación 400 de valores especificados 404

por medio de una especificación de valor de consigna se atraviesan primeramente algunos escalones, hasta que el valor está a disposición como magnitud de entrada en el módulo de regulación 501 propio del regulador 500. En una generación de valor de consigna 401 se genera un valor de consigna preliminar, directamente en el control del parque eólico 131 o a través de una interfaz de valor de consigna externa. Este valor de consigna preliminar
 5 atraviesa una limitación 402 con un valor máximo y valor mínimo (aquí para una potencia activa con un valor Pmax y Pmin). Estos están depositados como parámetros en el control de parque eólico 131. El valor de consigna resultante de ello atraviesa una así denominada rampa de valor de consigna 403. La rampa de valor de consigna debe impedir modificaciones de valor de consigna repentinas. Los parámetros son ajustes o valores predeterminados de forma fija en el control del parque eólico 131, que solo se pueden ajustar en el mismo control. Estos se almacenan entonces
 10 en el control. Sirven como parámetros de funcionamiento y definen por consiguiente el comportamiento del control del parque eólico 131 y por consiguiente del regulador.

A continuación, las instalaciones de energía eólica 100 reciben la misma señal de ajuste (POutput) del módulo de regulación 501 según la especificación de la potencia suministrada de consigna 503. De este modo, en el caso de
 15 una reducción de potencia en 502 se limitan en primer lugar aquellas instalaciones que también producen precisamente más potencia.

La estructura de regulador básica 500 es en principio igual en comparación a la de la fig. 5 incluso al usar un módulo de regulación modificado o complementario específicamente a la función. La magnitud de entrada (aquí P-Consigna
 20 (introducida directamente en el control del parque 131 o predeterminada por la interfaz externa) se puede normalizar - en el marco de una determinación del valor predeterminado 400 según se explica en la fig. 4 - a la potencia nominal del parque (P-nominal). Luego se verifican los límites ajustados del valor predeterminado en la limitación 402 (estos están depositados como parámetros en el control de parque eólico 131 Pmin, Pmax). Este valor de consigna no se adopta inmediatamente en el caso de una modificación del valor de consigna, sino que se modifica con una rampa
 25 de valor de consigna correspondiente (así denominada "Rampa - Setpoint") 403. La pendiente de la rampa es de nuevo un parámetro en el control del parque eólico 131. El valor resultante sirve entonces, según se explica, como valor predeterminado 404 para el regulador real 500 con módulo de regulación 501; aquí para el ejemplo de la potencia activa. La potencia medida (P-Real) en el punto de conexión a red 118 sirve como magnitud real para el módulo de regulación 501. Esta magnitud se puede filtrar según la parametrización. La potencia real 504 se puede
 30 normalizar también a la potencia nominal del parque eólico (P-nominal). El módulo de regulación 501 del regulador 500 para la potencia activa según la fig. 5 (o p. ej. completamente análogo para la potencia reactiva) es un módulo autónomo, que se puede llamar por distintos reguladores o se puede usar en otros reguladores como módulo simplificado.

Más exactamente cada regulador de potencia activa o un control de potencia activa 400, 500 está construido según el esquema de las fig. 4, fig. 5. A continuación se describe una regulación y control, que es responsable del comportamiento de la potencia activa en el punto de conexión a red 118 - a modo de ejemplo para una pluralidad del mismo con eventualmente funcionalidad diferente dependiente de la frecuencia de red. Estos reguladores / controles influyen p. ej. en las magnitudes de ajuste Pmax y P(reserved) de las instalaciones de energía eólica. A este respecto, preferentemente se usan igualmente todas las instalaciones de energía eólica. A este respecto, no se diferencia si una instalación de energía eólica puede esparcir precisamente el 40% de su potencia nominal o el 80% de su potencia. Todas las instalaciones reciben entonces la misma señal de ajuste del módulo de regulación 501. De este modo, según se explica arriba, en el caso de una reducción de potencia también en 502 se limitan siempre en primer lugar las instalaciones que también producen precisamente más potencia.
 45

La fig. 6 muestra para el perfeccionamiento del módulo de regulación 501 un regulador de potencia activa con un regulador 600 donde el parámetro "KI20max" limita la pendiente de la componente I. Este es válido en el caso de componente I ascendente y también descendente. El concepto que sirve de base prevé que la componente I no deba ascender o caer más rápidamente que lo que puede suministrar la instalación de energía eólica.
 50

Por ejemplo, una instalación de energía eólica E82 de la solicitante de 2 MW puede tener un gradiente de 120 kW/s como gradiente de potencia normal en el caso de reducción de la potencia activa. Esto se corresponde con 0,060 pu/s; este gradiente de potencia dP/dt es un parámetro de la instalación de energía eólica. Al usar una regulación de potencia del control del parque eólico, los parámetros de la instalación de energía de eólica están adaptados
 55 ventajosamente con el control del parque eólico 131. Cuando, por ejemplo, una instalación de energía eólica recibe de forma predeterminada un salto de valor de consigna, funcionamiento internamente la limitación a través del gradiente mencionado. Esta limitación se debe comprender mediante el parámetro "KI20max". Por consiguiente, se debe impedir que la componente I se reduzca demasiado y de este modo se desplome demasiado fuertemente la potencia. Sin esta componente I limitadora se desplomaría la potencia demasiado intensamente en el caso de una
 60 reducción fuerte y brusca de la potencia de parque eólico de consigna.

El efecto de la limitación de componente I se puede resumir como en otras palabras como sigue: ante los

antecedentes de que una instalación de energía eólica 100 o un parque eólico 112 se debe considerar en general como sistema comparativamente lento de un sistema regulado, la reacción de un regulador en el caso de especificaciones de valor real o de consigna variables se considera como proporcionalmente rápida. Esto conduce a que ya con una pequeña diferencia entre P-Consigna y P-Real - aquí designado con SP - la componente I del regulador 500 o 600, a saber, KI, presenta una amplificación adecuada. No obstante, si, por ejemplo, en el caso de ráfagas de viento o similares es relativamente grande una diferencia entre P-Consigna y P-Real - según se designa aquí con ΔP - la componente I KI en el regulador 500 resultaría desproporcionadamente grande, y sobrepasaría un valor máximo de la componente I I_{max} . A saber, sobrepasa un valor máximo de la componente I I_{max} que se sitúa al otro lado del comportamiento realmente lento de un aumento de potencia en una instalación de energía eólica. El último aumento de potencia del comportamiento realmente lento se debe buscar, por ejemplo, en como máximo el 6% o 20%.

Así, si ΔP sobrepasa un valor relativo de este orden de magnitud, como por ejemplo 6% o 20%, entonces el limitador de componente I KI_{20max} realizado como limitador de pendiente para la componente I en el regulador 600 se ocupa de una limitación de la componente I a un máximo de 20 %. La cooperación del regulador P 610 con amplificación KP20, regulador I con amplificación KI20 y limitador de componente I 630 con componente I máxima limitada en pendiente del 20 % KI_{20max} conduce a un comportamiento de regulación preferido y mejorado para el valor inicial de regulación de potencia POutput en el regulador 600. En el limitador 502 explicado anteriormente se mantiene además POutput max y POutput min y entonces se le da como magnitud de ajuste POutput WEA a la instalación de energía eólica WEA. En detalle, el comportamiento preferido según el principio explicado anteriormente del regulador 600 se explica en comparación a un comportamiento general del regulador 500 en el caso de una especificación de valor de consigna para una potencia activa P-Consigna mediante las fig. 7 y fig. 8.

La fig. 7 muestra en primer lugar en la vista (A) el desarrollo de una potencia real 504 en comparación a una potencia de consigna 404. De ello resulta en este ejemplo una $\Delta P = P\text{-Consigna} - P\text{-Real}$, que en el desarrollo de la fig. 7 mostrado en la vista (A) provoca desde el instante t una reducción R demasiado intensa (sobresoscilaciones) de la instalación de energía eólica para la potencia real P-Real, que está representada sombreada. La causa es la disminución condicionada por el regulador de la componente I desde el instante t de un valor 1100 a un valor I60 situado por debajo mediante una rampa lenta IR, que está representada en la vista (B). El desarrollo de una componente I en el marco de la rampa IR entre un valor máximo 1100 y un valor de reserva I80 es inadecuado, no obstante, según se ilustra en la vista (C), considerando la capacidad de potencia real de la instalación de energía eólica. Pues al menos hasta el valor de reserva de I80 como 80% de la componente I máxima 1100 o en el rango entre 180 y 1100 no se debe hacer funcionar la instalación de energía eólica durante el funcionamiento nominal por motivos de estabilización de red bajo conservación de una reserva - justo por el motivo de que el rango entre I80 y 1100 debe estar a disposición como reserva por motivos de estabilización de red. La limitación de la componente I representada en la vista (C) según el concepto de la invención, aquí a I80, conduce a que un rango entre 1100 y I80 se ajusta como función escalonada y puede caer como rampa un rango situado por debajo de I80. Expresado de otra forma, el 20% de la componente I debido a su disminución inmediata es ventajoso para la reacción rápida de la instalación de energía eólica en el caso de un dispositivo de regulación preferido. Tras alcanzar el valor objetivo de la componente I60, la componente I I puede estar configurada de forma ajustable de nuevo mediante el comportamiento de regulación normal.

Esto se clarifica mediante los desarrollos representados en la comparación de la potencia suministrada P-Real. La fig. 8 muestra en la vista (A) el desarrollo representado en la función de salto descendente de una potencia real de consigna P-Consigna. Esto conduce, para el caso de que la componente I del módulo de regulación de potencia activa 600 se realizaría sin limitación de pendiente - es decir, solo con regulador I 620 - a que la potencia P-Real (sin limitación de componente I) se regule de forma proporcionalmente larga. Según está representado en la vista (B), esto puede conducir en particular a un comportamiento de oscilación indeseado, donde la potencia real P-Real se sitúa por debajo de la potencia de consigna P-Consigna. Este es el caso, por ejemplo, entre los instantes t y t'.

En la vista (B) de la fig. 8 por el contrario está confrontada esta oscilación posterior de la potencia suministrada real P-Real para la potencia activa de la vista (A) con un desarrollo de la potencia suministrada P-Real, donde la componente I del módulo de regulación de potencia activa 600 está limitada, es decir, con participación del regulador P 610, del regulador I 620 y del limitador de componente I 630. En este caso, la especificación de la potencia de consigna es la misma como función de salto descendente. Sin la limitación de componente I oscilaría posteriormente la potencia real P-Real de forma comparativamente larga. No obstante, en el caso de una limitación de componente I por medio del limitador de componente I 630 se puede conseguir que la potencia suministrada P-Real según la vista (B) de la fig. 8, similar a una caída límite aperiódica sin oscilación posterior esencial, se reduzca, todavía antes del instante t', a la especificación de valor de consigna P-Consigna. Esto se consigue mediante la limitación brusca de la componente I 1100 a un valor de reserva I80; adicionalmente se realiza solo luego una reducción adicional de la fracción I en el marco de una rampa al valor previsto I60. Luego se libera de nuevo la componente I y durante el funcionamiento lento habitual de la instalación de energía eólica puede seguir las especificaciones de valor real y de

consigna de la potencia activa, según está representado esto en la vista (C) de la fig. 7.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica (100) y/o de un parque eólico (112) para la inyección de potencia eléctrica a una red de alimentación eléctrica (120), donde una potencia suministrada, en particular una potencia activa y/o reactiva (P, Q), se regula por medio de al menos un módulo de regulación de potencia (501) de un dispositivo de regulación y/o control (131), que presenta las etapas:
- predeterminación de un valor de entrada de regulación de potencia
- 10 - determinación de un valor de salida de regulación de potencia a partir del valor de entrada de regulación de potencia
- emisión de un valor de salida de regulación de potencia, donde
- el módulo de regulación de potencia presenta un regulador P (610) y un regulador I (620) y presenta un limitador de componente I, donde
- 15 - un primer valor de trabajo del valor de entrada de regulación de potencia se procesa en el regulador P (610) formando una componente P,
- un segundo valor de trabajo del valor de entrada de regulación de potencia se procesa en el regulador I (620) formando una componente I, y
- 20 - un tercer valor de trabajo del valor de entrada de regulación de potencia se procesa en el limitador de componente I (630) formando una componente I limitada,
- la componente P se determina en paralelo a la componente I, y
 - la componente I se determina a partir del valor de entrada de regulación de potencia y la componente I limitada se determina luego a partir de la componente I, **caracterizado porque:**
- 25 - la componente I limitada se limita por medio de una limitación de pendiente y la limitación de la componente I del regulador I está limitada a un máximo del 20%, y
- el valor de salida de regulación de potencia (P-Output) se determina con la componente I limitada y la componente P.
- 30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la componente I limitada se determina por medio de una limitación de amplitud de la componente I.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la amplificación del regulador P (610) y/o la amplificación del regulador I (620) y/o la amplificación del limitador de componente I (630) está limitada a un máximo del 20%.
- 35 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** para la limitación de la componente I, la componente I se reduce bruscamente a un valor para la instalación de energía eólica que es el máximo posible.
- 40 5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** para la limitación de la componente I, la componente I se ajusta en un rango como función escalonada y puede disminuir en un rango situado por debajo como rampa.
- 45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la limitación de la componente P del regulador P está limitada a un máximo del 20%.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** las otras etapas:
- 50 - parametrización del módulo de regulación de potencia, y/o
- medición de los parámetros de red y luego
 - predeterminación del valor de entrada de regulación de potencia.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el valor de entrada de regulación de potencia se predetermina en función de la frecuencia de red.
- 55 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se regula una potencia activa y/o potencia reactiva (P, Q) de la potencia suministrada.
- 60 10. Dispositivo de regulación y/o control configurado para el funcionamiento de una instalación de energía eólica (100) y/o de un parque eólico (112) para la inyección de potencia eléctrica en una red de alimentación eléctrica (120) según un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, con al menos un módulo de

regulación de potencia, que presenta un regulador P (610) y un regulador I (620) y un limitador de componente I (630),

5 el regulador I y el limitador de componente I están acoplados en paralelo al regulador P y el limitador de componente I en serie después del regulador I, **caracterizado porque** la componente I limitada está limitada por medio de una limitación de pendiente y la limitación de la componente I del regulador I está limitada a un máximo del 20%.

10 11. Dispositivo de regulación y/o control según la reivindicación 10, **caracterizado porque** el limitador de componente I (630) para la limitación del componente (I) está configurado para reducir bruscamente la componente I a un valor para la instalación de energía eólica que es el máximo posible, en particular la componente I está ajustada en un rango como función escalonada y puede disminuir en un rango situado por debajo como rampa.

15 12. Instalación de energía eólica (100) para la inyección de potencia eléctrica en una red de alimentación eléctrica con un dispositivo de regulación y/o control según la reivindicación 10 u 11.

13. Parque eólico (112) para la inyección de potencia eléctrica en una red de alimentación eléctrica con un número de instalaciones de energía eólica según la reivindicación 12.

20 14. Parque eólico (112) según la reivindicación 13, **caracterizado porque** todas las instalaciones de energía eólica del parque eólico se regulan de la misma manera.

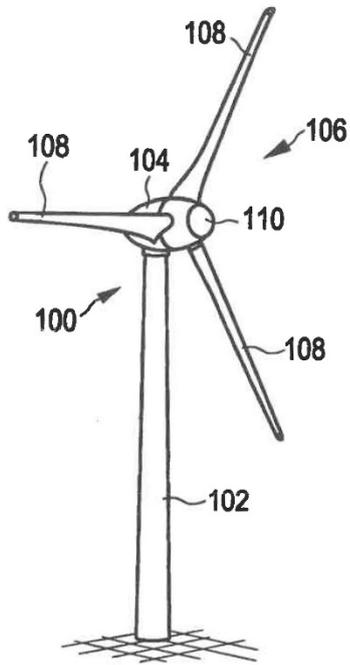


Fig. 1

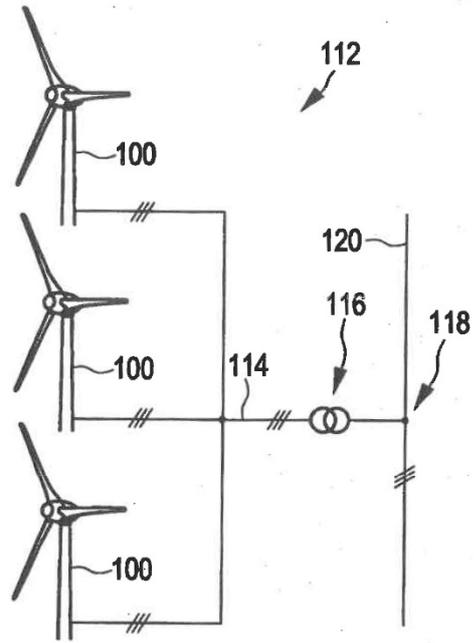


Fig. 2

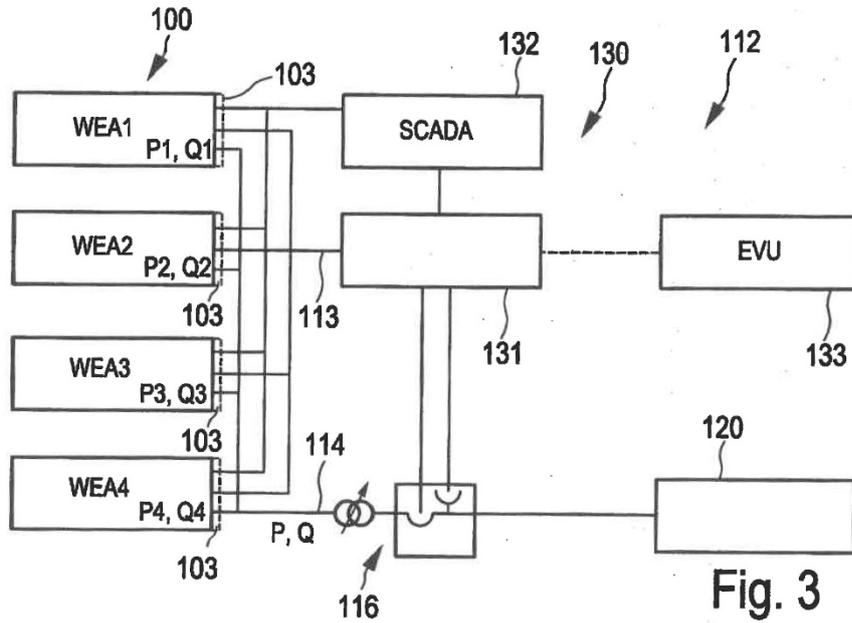
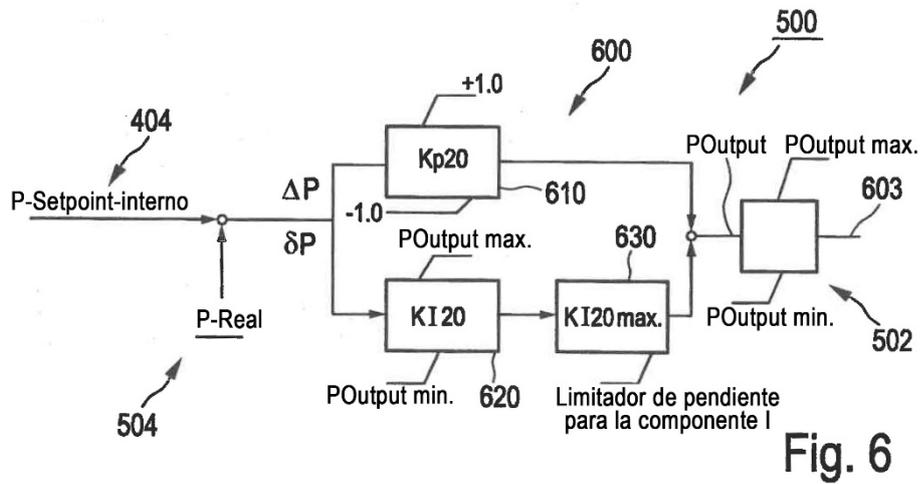
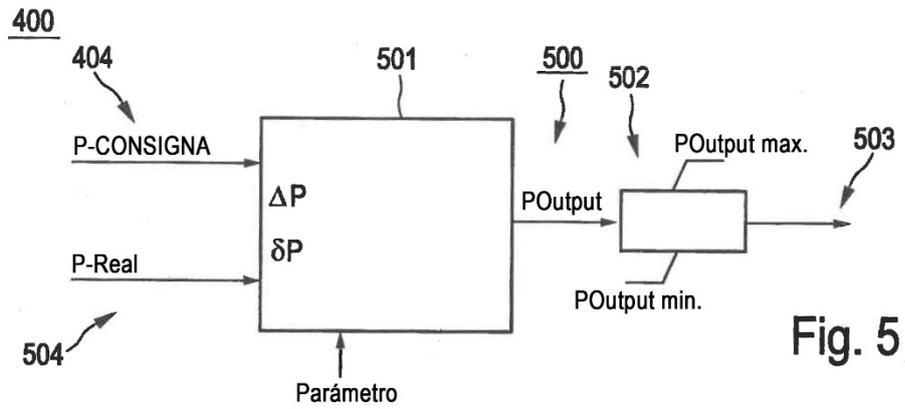
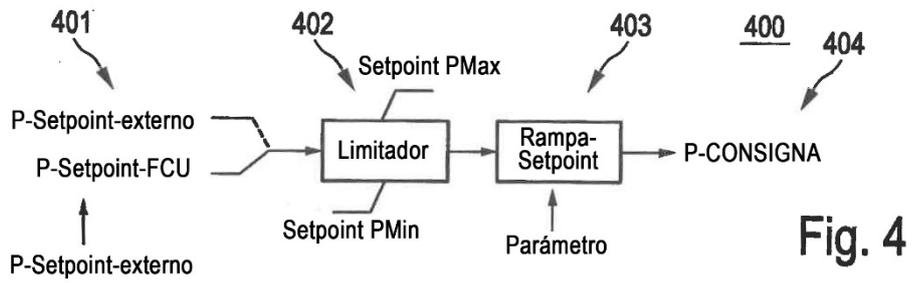


Fig. 3



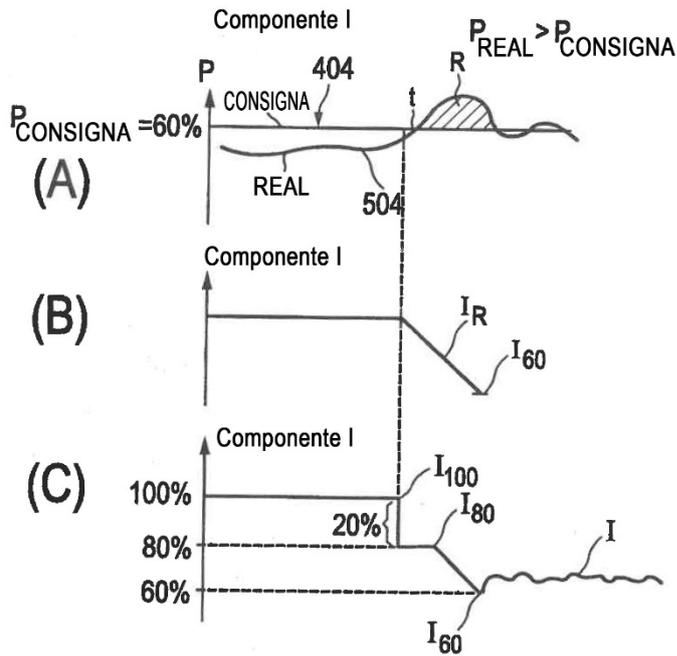


Fig. 7

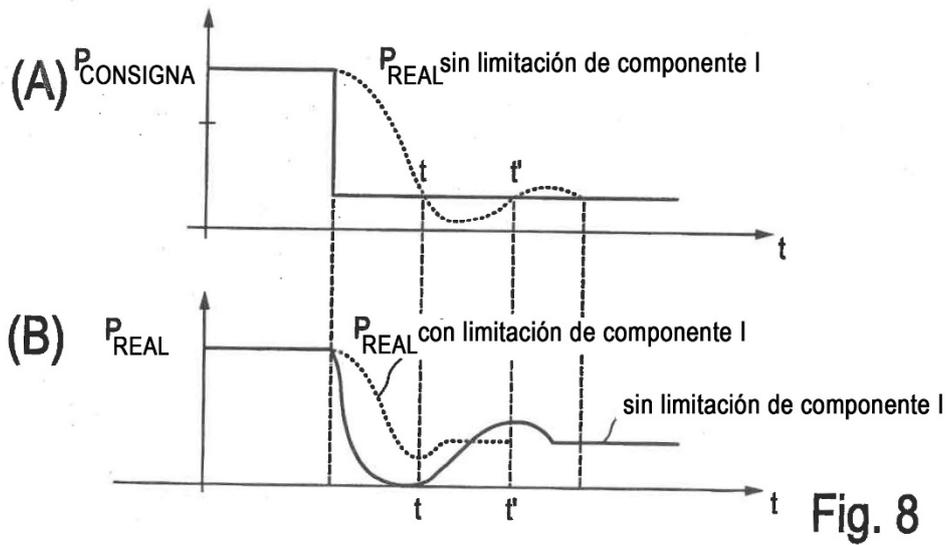


Fig. 8