

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 528**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.09.2008 PCT/EP2008/007246**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.03.2009 WO09036895**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2008 E 08785828 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 2191551**

54 Título: **Parque eólico con regulación de tensión de las turbinas eólicas y procedimiento de funcionamiento**

30 Prioridad:

19.09.2007 DE 102007044601

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

17.03.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ZEUMER, JÖRG;
LETAS, HEINZ-HERMANN y
FORTMANN, JENS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 812 528 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

Parque eólico con regulación de tensión de las turbinas eólicas y procedimiento de funcionamiento

La invención se refiere a un parque eólico con al menos una turbina eólica, que presenta en cada caso un generador y un convertidor, y con un maestro de parque, que está diseñado para el control de potencia activa y reactiva y transmite una señal de control para potencia reactiva a través de una red de comunicación a las turbinas eólicas, y con una red de conexión que conecta las turbinas eólicas entre sí para alimentar energía eléctrica a una red a través de un punto de unión.

Para el funcionamiento de parques eólicos es cada vez más importante su comportamiento en la red eléctrica. Debido al número creciente y al tamaño de los parques eólicos pueden y deben contribuir a asegurar la estabilidad de la red. Por parte del operador de red no se trata solo de la alimentación mejorada de potencia efectiva, sino que se plantean adicionalmente también exigencias en cuanto a la alimentación de potencia reactiva para poder cumplir con límites de tolerancia determinados para la tensión cedida. Esto último es de particular importancia precisamente en parques eólicos que están conectados a la red de media tensión. Entonces, en estos, debido a la estructura mallada, mediante variaciones del nivel de tensión en puntos individuales, tal como el punto de alimentación de un gran parque eólico, pueden producirse influencias en los tramos a través de los que fluye y en la dirección en la que fluye principalmente la potencia eléctrica. Además es conocido que la alimentación de potencia reactiva tiene una gran importancia para la protección del nivel de tensión. Esto se cumple en particular en el caso de una caída de tensión.

La capacidad de parques eólicos con modernas turbinas eólicas equipadas con convertidores para la alimentación de potencia activa como también potencia reactiva tiene por lo tanto una gran importancia. Se exige que con respecto a un punto de unión entre el parque eólico y la red se cumplan determinadas especificaciones de valores teóricos para la potencia reactiva (ya sea como especificación directa de la potencia reactiva o del factor de potencia) y con frecuencia también para la tensión teórica. Por medio de estas especificaciones de valores teóricos, el maestro de parque determina señales de control correspondientes para las turbinas eólicas individuales del parque eólico (documento EP-A-1512869). A este respecto ha de tenerse en cuenta que las turbinas eólicas de un parque eólico no tienen que ser obligatoriamente todas idénticas, y que están conectadas precisamente en parques eólicos espacialmente extensos con frecuencia también a través de líneas largas con diferentes propiedades de capacidad y resistencia. Para contrarrestar el efecto de retardo debido a esto, se ha intentado transmitir a las turbinas eólicas no valores teóricos de potencia reactiva, sino especificaciones para la tensión que va a cederse, regulando esta las turbinas eólicas por medio de un regulador de tensión local de acuerdo con las especificaciones (documento DE-A-102004048339). Este concepto ofrece la ventaja de una transmisión rápida también a una velocidad de transmisión limitada en la red de comunicación. Sin embargo, ha resultado desventajoso que la conversión en particular en parques eólicos con turbinas eólicas de diferente tipo o de diferentes fabricantes puede ser difícil. Esto se cumple en particular para el reequipamiento. Además, es conocido especificar para las turbinas eólicas individuales en cada caso un valor teórico de potencia reactiva propio (documento WO-A-01/73518). Una desventaja de este concepto se basa en que en el caso de una especificación directa de la potencia reactiva (o del factor de potencias o del ángulo) desde el maestro de parque a las turbinas eólicas individuales, debido a la velocidad de transmisión limitada en la red de comunicación del parque eólico, pueden producirse retardos que llevan a un reajuste retardado y con ello a un comportamiento peor en el caso de cambios rápidos.

Además, por la publicación "High-Quality Power Generation Through Distributed Control of a Power Park Microgrid" de Milan Prodanovic et al. en IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 53, n.º 5, octubre de 2006, se conoce un procedimiento y un dispositivo correspondiente para hacer funcionar un parque eólico con regulación de potencia distribuida.

La invención se basa en el objetivo de proporcionar, a partir del estado de la técnica mencionado en último lugar, una gestión de la potencia reactiva mejorada, que consigue una dinámica mejorada y con ello una mayor estabilidad en la red.

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

En el caso de un procedimiento para hacer funcionar un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas, que presenta un generador con un convertidor para la generación de energía eléctrica y un control, con un maestro de parque, que está diseñado para el control de potencia activa y reactiva y transmite una señal de control para potencia reactiva a través de una red de comunicación a las turbinas eólicas, y con una red de conexión, que conecta las turbinas eólicas entre sí para alimentar la energía eléctrica generada a una red a través de un punto de unión, en donde tiene lugar una regulación de la potencia reactiva por medio de un regulador de potencia reactiva en al menos una de las turbinas eólicas, en cuya entrada está aplicado un valor teórico de potencia reactiva y que actúa sobre el convertidor para el ajuste de una potencia reactiva, está previsto según la invención aplicar una señal en la al menos una turbina eólica desde el maestro de parque y regular la tensión cedida mediante modificación de la potencia reactiva cedida por el convertidor a la tensión teórica por medio de un regulador adicional, y además unir el regulador de potencia reactiva y el regulador adicional de tal manera que se forma una señal de control común para el convertidor.

El término del regulador de potencia activa o reactiva ha de entenderse ampliamente y abarca, excepto verdaderos equipos de regulación de potencia también equipos de regulación de corriente, que regulan de manera correspondiente la parte de acción o reacción de la corriente y con ello también de la potencia cedida. Es decir, para la invención no depende de si la corriente o la potencia, o ambas, se usan para la regulación de la parte de acción y reacción.

Con la combinación prevista según la invención de un regulador de potencia reactiva en la turbina eólica y regulación de tensión local se consigue un comportamiento mejorado de las turbinas eólicas en el parque eólico, en concreto en particular con respecto al comportamiento dinámico durante variaciones. Esta mejora permite una regulación más rápida en el parque eólico así como evitar oscilaciones, tal como podrían generarse de manera sencilla convencionalmente en parques eólicos con turbinas eólicas de distintos tipos. A este respecto puede influirse en el comportamiento mediante la elección del tipo de unión de regulación de potencia reactiva y regulación adicional de manera sencilla (por regla general mediante un simple cambio de software). La interacción según la invención del regulador de potencia reactiva y del regulador adicional mediante la unión consigue con ello una dinámica alta, es decir, una reacción rápida durante variaciones de tensión, y una estabilidad adecuada, es decir una precisión estacionaria sin riesgo de oscilaciones de regulación. Para el ajuste más fino puede estar previsto que en el enlace tenga una influencia dominante la regulación de potencia reactiva. Con ello se intensifica la influencia amortiguadora sobre oscilaciones de regulación entre las turbinas eólicas, de modo que estas prácticamente desaparecen. Por el contrario, si domina la regulación adicional de la tensión durante la unión, entonces puede conseguirse una respuesta más rápida en el caso de variaciones de tensión.

La interacción según la invención se explica a continuación en el ejemplo de una caída de tensión. La reducción de tensión en la red se reconoce casi al mismo tiempo desde el maestro de parque y el control de las turbinas eólicas individuales. El maestro de parque calcula por medio de su unidad de control de potencia reactiva un nuevo valor teórico de potencia reactiva a base del valor de tensión modificada. Debido al retardo de señal que se produce inevitablemente debido al ancho de banda limitado durante la transmisión del valor teórico modificado a las turbinas eólicas (este valor asciende en la práctica a algunos 100 milisegundos) se llega a los valores teóricos modificados en el regulador de potencia reactiva de las turbinas eólicas con retardo considerable. Dado que el regulador adicional en la turbina eólica reconoce asimismo la caída de tensión, no necesita esperarse la transmisión retardada de nuevos valores teórico, sino que la variación necesaria de la emisión de potencia reactiva puede ya anticiparse. Si se cumplen los nuevos valores teóricos desde el maestro de parque, gracias a la unión según la invención con el regulador de potencia reactiva se asegura que se consiga una precisión estacionaria suficiente. A este respecto la unidad de control de potencia reactiva implementada en el maestro de parque adapta las especificaciones teóricas para las turbinas eólicas de modo que la potencia reactiva proporcionada actualmente por el parque en conjunto coincide con la especificación teórica. Este proceso puede llevarse a cabo lentamente y por lo tanto con alta precisión estacionaria, dado que las turbinas eólicas con la unión de regulador adicional y regulador de potencia reactiva pueden anticipar la reacción necesaria de manera autárctica.

El procedimiento según la invención permite además de la regulación rápida de diferencias de regulación evitando al mismo tiempo oscilaciones de regulación, una adaptación flexible a los requisitos de diferentes operadores de red. De este modo el procedimiento puede implementarse fácilmente de modo que en lugar de una potencia reactiva predeterminada para el parque eólico como todo se toma por base una tensión teórica para el parque eólico como todo de la regulación. Además, el procedimiento según la invención ofrece la ventaja de que puede implementarse con relativamente pocos cambios en controles basados en software o maestro de parque. Un gasto adicional en hardware es necesario solo en pequeña medida.

La unión de las señales del regulador de potencia reactiva y del regulador adicional puede tener lugar por medio de factores de ponderación variables. Con ello puede influirse en la interacción del regulador adicional y del regulador de potencia reactiva. Son posibles distintos procedimientos de funcionamiento. Así, puede estar previsto que la señal para la tensión teórica para el regulador adicional como también del valor teórico de potencia reactiva para el regulador de potencia reactiva se predeterminen ambos por el maestro de parque. Esto permite una optimización muy flexible del comportamiento de la turbinas eólica en el parque eólico y con ello del parque eólico con respecto a la red en conjunto. Para simplificar puede estar previsto también ajustar en cada caso uno de los dos parámetros teóricos en la turbina eólica, y el otro en cada caso dinámicamente por el maestro de parque. Si está previsto por ejemplo que el valor teórico de potencia reactiva sea constante, el maestro de parque da la señal para la tensión teórica al regulador adicional de la turbina eólica. Esto permite una regulación de tensión muy rápida y consigue con ello una estabilización efectiva de la tensión de red. Además, con ello pueden prevenirse excesos de tensión indeseados de turbinas eólicas individuales. En conjunto, con ello pueden optimizarse las pérdidas en el parque eólico. La especificación de una potencia reactiva fija no necesita tener lugar a este respecto en todas las turbinas eólicas, sino convenientemente solo en una parte de las turbinas eólicas del parque. Como alternativa, en cambio, puede estar previsto también que la tensión teórica esté ajustada de manera fija en las turbinas eólicas, mientras que el valor teórico de potencia reactiva se predetermina de manera dinámica por el maestro de parque. Esto permite también una reacción suficientemente rápida a variaciones de tensión, concretamente en particular también en combinación con turbinas eólicas en el parque eólico, que no disponen de una regulación de tensión local. Este procedimiento según la invención puede realizarse con ello de manera muy flexible de distinta manera. Es además robusto con respecto a parques eólicos con turbinas eólicas de diferente tipo constructivo, que no presentan determinadas funcionalidades, tales como la regulación de tensión, o disponen de otras funcionalidades adicionales, tal como una compensación pasiva adicional. El

procedimiento según la invención puede emplearse por lo tanto también con éxito en parques eólicos de este tipo, que comprenden turbinas eólicas, en las que no están fijadas ni la tensión teórica ni la potencia reactiva. El procedimiento según la invención es adecuado por lo tanto también para parques eólicos, que debido a una red de conexión muy extensa o dificultades en la red de comunicación, turbinas individuales no pueden incluirse en la regulación.

- 5 En una forma de realización probada, la unión tiene lugar de manera que la potencia reactiva de la turbina eólica se modifica linealmente con la tensión, siempre que la tensión se encuentre en una banda de tolerancia de tensión. Preferiblemente está previsto además que la potencia reactiva fuera de los límites de la banda de tolerancia se modifique de manera no lineal, por ejemplo por medio de un pliegue en una curva característica en los límites de la banda de tolerancia. Con ello, dentro o fuera de la banda de tolerancia puede variarse el comportamiento del
10 procedimiento según la invención entre especificación de potencia reactiva por un lado y regulación de tensión por otro lado.

- La unión se ve afectada a este respecto de manera decisiva por el regulador adicional y la potencia reactiva de la turbina eólica seguirá una variación de tensión de manera correspondiente a las propiedades del regulador adicional. A este respecto, el regulador adicional no puede ser solo un regulador proporcional, sino también presentar partes
15 integrales y/o diferenciales.

- La unión puede tener lugar ventajosamente mediante filtración previa del parámetro de entrada para el regulador de potencia reactiva o el regulador adicional. En particular puede estar previsto que el regulador adicional esté conectado antes del regulador de potencia reactiva, de modo que una señal de salida del regulador de tensión está aplicada como una de las señales de entrada en el regulador de potencia reactiva. Con ello puede conseguirse una estructura
20 clara de los reguladores. Esta estructura permite una filtración previa no lineal, por ejemplo mediante un miembro de curva característica como filtro previo.

- Para aumentar en conjunto la estabilidad de tensión del parque eólico, la tensión cedida por el parque eólico puede regularse a un valor teórico por medio de un módulo de control de tensión que actúa sobre la unidad de control de potencia reactiva del maestro de parque. En este está aplicado un valor teórico para la tensión teórica del parque
25 como entrada, y su señal de salida está aplicada como señal de entrada en la unidad de control de potencia reactiva. Con ello se crea la posibilidad de, en lugar de valores teóricos de potencia reactiva, tomar como base un valor teórico de tensión (predeterminado por el operador de red) para el funcionamiento del parque eólico. Como módulo de control de tensión puede usarse ventajosamente una estática de tensión que en el caso más sencillo puede estar realizada como un miembro de curva característica. Preferiblemente está previsto además generar una señal de control previo
30 para la tensión teórica en función de la tensión real en el parque eólico para la compensación de las variaciones de tensión provocadas por el regulador adicional de las turbinas eólicas. Con ello puede compensarse en gran medida el riesgo de sobrepasarse en la variación de la tensión de red bajo la influencia de la regulación de tensión local de la turbina eólica en el maestro de parque mediante control previo. La idea subyacente consiste en que los valores teóricos de potencia reactiva transmitidos a las turbinas eólicas están corregidos ya en la medida que cabe esperar de la
35 regulación de tensión local. La dinámica en la variación de tensión, en particular caídas de tensión, se mejora con ello considerablemente.

- Preferiblemente en el control de la turbina eólica se usa un control de emergencia que está diseñado para, en ausencia de una señal para el valor teórico de potencia reactiva proporcionar un valor sustituto preferiblemente memorizado para el regulador de potencia reactiva. Con ello, también en el caso de un fallo de la comunicación, por ejemplo por
40 una alteración de la red de comunicación, puede mantenerse una cierta regulación de potencia reactiva de la turbina eólica, concretamente a un valor estándar almacenado previamente.

- La invención se refiere asimismo a un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas, que presentan un generador con un convertidor para la generación de energía eléctrica y un control, un maestro de parque, que está diseñado para el control de potencia activa y reactiva y transmite una señal de control para potencia reactiva a través de una red de
45 comunicación a las turbinas eólicas, y una red de conexión, que conecta las turbinas eólicas entre sí para alimentar la energía eléctrica generada a una red a través de un punto de unión, en donde al menos una de las turbinas eólicas presenta un regulador de potencia reactiva, en cuya entrada está aplicado un valor teórico de potencia reactiva y que actúa sobre el convertidor para ajustar una potencia reactiva correspondiente al valor teórico de potencia reactiva, en donde según la invención la turbina eólica presenta un regulador adicional, en cuya entrada desde el maestro de
50 parque está aplicada una señal para una tensión teórica y que emite señales de control para el convertidor para modificar la potencia reactiva cedida para regular la tensión cedida de la turbina eólica al valor teórico, y en donde está prevista una unidad de unión que conecta el regulador de potencia reactiva y el regulador adicional de tal manera que está formada una señal de control común para el convertidor.

Para una explicación más detallada se remite a realizaciones anteriores con respecto al procedimiento.

- 55 La invención se explica más detalladamente con referencia al dibujo adjunto, en donde están representados ejemplos de realización ventajosos. Muestran:

la figura 1 una vista esquemática de un ejemplo de realización de un parque eólico según la invención con maestro de parque y turbinas eólicas;

- la figura 2 un ejemplo de un requisito con respecto al comportamiento del parque eólico en la red;
- la figura 3 una representación esquemática de un maestro de parque de acuerdo con un primer ejemplo de realización de la invención;
- 5 la figura 4 una representación esquemática de una turbina eólica de acuerdo con un primer ejemplo de realización de la invención;
- la figura 5 representaciones de curvas características alternativas para el ejemplo de realización de acuerdo con la figura 4;
- la figura 6 una representación esquemática de un maestro de parque de acuerdo con un segundo ejemplo de realización de la invención; y
- 10 la figura 7 una representación esquemática de una turbina eólica de acuerdo con un segundo ejemplo de realización de la invención.

De acuerdo con una forma de realización de la invención, un parque eólico comprende una pluralidad de turbinas eólicas 1 (en la figura 1 están representadas a modo de ejemplo cinco turbinas eólicas), una red de conexión 3, a la que están conectadas las turbinas eólicas 1 y que está conectada a través de un punto de unión 69 con una red de media tensión 9, un maestro de parque 8 para el control central del parque eólico y una red de comunicación 7, que conecta el maestro de parque 8 con las turbinas eólicas individuales 1.

Las turbinas eólicas individuales 1 comprenden una torre 11, en cuyo extremo superior está dispuesta de manera giratoria una sala de máquinas 12 en dirección acimutal. En su lado frontal delantero está fijado un rotor 13 de manera giratoria en un árbol de rotor (no representado), a través del que el rotor 13 impulsa un generador 15 en la maquinaria 12. Se trata preferiblemente de un generador asíncrono doblemente alimentado, sin embargo son también posibles otros tipos constructivos. Con el generador 15 está conectado un convertidor 17. Este convierte la potencia eléctrica proporcionada por el generador de frecuencia variable en una corriente trifásica con frecuencia fija (frecuencia de red). La turbina eólica 1 se controla por un control 2. Actúa a través de líneas de control adecuadas (no representadas) sobre los componentes individuales de la turbina eólica 1. Al control 2 está conectada la red de comunicación 7.

Para el control a través de la línea eléctrica alimentada a la red 9 está previsto el maestro de parque 8. Este ejerce una función principal para las turbinas eólicas 1. La potencia eléctrica generada por las turbinas eólicas 1 se alimenta a la red de distribución 3 y se conduce a través de esta a una línea de conexión 6, a través de la que se guía hasta el punto de unión 69 y además a la red 9. La línea de conexión 6 puede presentar una longitud considerable y con ello no presentar resistencias, inductancias y capacidades insignificantes. Estas están representadas a lo largo de la línea de conexión 6 en la figura 1 con símbolos como elementos concentrados 60. La línea de conexión 6 comprende un transformador de media tensión 66, que está diseñado para elevar el nivel de tensión que prevalece en la red de distribución 3 desde aproximadamente 1000 voltios hasta el nivel de tensión de la red de media tensión 9 de aproximadamente 20 kV. Además, a lo largo de la línea de conexión 6 están dispuestos sensores para tensión y corriente 68, 68', cuyas señales de medición están conectadas al maestro de parque 8.

El maestro de parque 8 presenta además de entradas para las señales de medición ya mencionadas para tensión y corriente que potencia alimentada por el parque eólico a la red 9, entradas para una potencia efectiva P-MAX que va a alimentarse como máximo así como para una especificación de potencia reactiva de la potencia que va a alimentarse. La expresión "especificación de potencia reactiva" ha de entenderse en general y abarca, además de un valor de potencia reactiva Q_v el factor de potencia $\cos \varphi$, la $\tan \varphi$, el ángulo φ en sí o también una tensión predeterminada U_v .

El maestro de parque 8 comprende una rama de potencia efectiva con un elemento diferencial 83 y una unidad de control de potencia efectiva 85 (figura 3). En una entrada positiva del elemento diferencial 83 está aplicada la señal de entrada alimentada desde el exterior para una potencia efectiva máxima. En la otra entrada, negativa, del elemento diferencial 83 está aplicada una señal de salida de una unidad de cálculo de potencia efectiva 87, a la que como señales de entrada están conectadas las señales de medición determinadas por los sensores de corriente y tensión 68, 68'. La unidad de cálculo de potencia efectiva 87 determina la potencia efectiva cedida realmente por el parque eólico, y esta se compara por el elemento diferencial 83 con la potencia máxima prevista P-Max, y la diferencia resultante se aplica en la unidad de control de potencia efectiva 85 como señal de entrada. En la unidad de control de potencia efectiva 85 está implementada una función de limitación que en el caso de superarse la potencia máxima prevista por la potencia efectiva cedida realmente, emite una señal de limitación de potencia efectiva P_{max} a las turbinas eólicas 1 del parque eólico.

El maestro de parque 8 presenta asimismo una rama de potencia reactiva con un elemento diferencial 84 y una unidad de control de potencia reactiva 88. En una primera entrada positiva del elemento diferencial 84 está aplicada una señal teórica procedente del exterior para la especificación de potencia reactiva Q_v . En la entrada negativa del elemento diferencial 84 está conectada una unidad de cálculo de potencia reactiva 89, que a partir de las señales de medición determinadas por los sensores de medición 68, 68' para tensión y corriente calcula el valor la potencia reactiva Q cedida realmente por el parque eólico. El elemento diferencial 84 determina la diferencia de la potencia reactiva almacenada realmente y valor y el valor predeterminado aplicado, y lleva la diferencia tras la limitación por un módulo de limitación 86 a la unidad de control de potencia reactiva 88. Esta está diseñada para, a partir de la desviación de la

potencia reactiva cedida con respecto al valor teórico previsto, generar en cada caso señales de control actualizadas para las turbinas eólicas individuales 1 del parque eólico, más concretamente, para los controles 2. Por medio de estas señales de control se modifica el punto de funcionamiento teórico de las turbinas eólicas 1 de tal manera que se regulan desviaciones de la potencia reactiva cedida por el parque eólico con respecto al valor predeterminado. Cabe señalar que la especificación directa de la potencia reactiva teórica Q_v es solo una de varias posibilidades para la regulación de la potencia reactiva. La especificación de una tensión teórica está representada a modo de ejemplo en la figura 2. El módulo de conversión 82 está diseñado como un módulo de estática de tensión, en el que está almacenada una función de curva característica para la determinación de una especificación de potencia reactiva Q_v en función de la tensión predeterminada. El almacenamiento tiene lugar preferiblemente en forma de una tabla de búsqueda.

La estructura y el modo de funcionamiento del control 2 de una turbina eólica 1 se explican por medio del ejemplo de realización representado en la figura 4. El control 2 comprende como componente principal un regulador de potencia efectiva 25 y un regulador de potencia reactiva 24. A la entrada del regulador de potencia efectiva 25 está conectado un elemento diferencial 23. En su entrada positiva está aplicada la medida máxima determinada por el maestro de parque P-MAX para la potencia efectiva de la turbina eólica respectiva, y en la entrada negativa está aplicada una medida para la potencia efectiva de la turbina eólica 1 cedida realmente determinada por una unidad de cálculo 27. Esta determina (de manera correspondiente a la unidad de cálculo 87 del maestro de parque) la potencia efectiva cedida realmente por medio de señales de medición, que se miden por sensores (no representados) para tensión y corriente en la línea de conexión de la turbina eólica 1 en la red de conexión 3. A partir de la diferencia, el elemento diferencial 23 determina una desviación que sirve como señal de entrada para el regulador de potencia efectiva 25. El regulador de potencia efectiva 25 determina por medio de un algoritmo de regulación en sí conocido una señal de control para la turbina eólica, que se alimenta a un módulo de desacoplamiento y de limitación 29.

El regulador de potencia reactiva 24 presenta una estructura similar a la del regulador de potencia efectiva 25. En su entrada está conectado un elemento diferencial 22. Este forma una diferencia a partir de señales aplicadas para una potencia reactiva teórica q_s determinada por la unidad de control de potencia reactiva 88 del maestro de parque 8 y una potencia reactiva de la turbina eólica cedida realmente calculada por medio de una unidad de cálculo de potencia reactiva 28. La diferencia de esto forma una desviación de potencia reactiva, que está aplicada como señal de entrada en el regulador de potencia reactiva 24. Esta determina a partir de esto por medio de un algoritmo de regulación en sí conocido una señal de control para la turbina eólica 1, que está aplicada igualmente en el módulo de desacoplamiento y de limitación 29. Este está diseñado para, a partir de las señales de control del regulador de potencia efectiva 25 y del regulador de potencia reactiva 24, generar señales de guía comunes para el convertidor 17 de la turbina eólica 1. Estas señales se aplican como vector de guía F en el convertidor 17 y dado el caso también el generador 15 de la turbina eólica.

El control 2 diseñado según la invención comprende además un regulador adicional 4. Este comprende un elemento diferencial 41 en su entrada y un núcleo de regulación 43. En una entrada positiva del elemento diferencial 41 está aplicada una medida para un valor teórico de la tensión cedida por la turbina eólica 1; en la otra entrada, negativa, del elemento diferencial 41 está aplicada la medida para la tensión cedida realmente determinada por el equipo de medición de tensión 19. La diferencia de tensión que resulta a este respecto se aplica como señal de entrada en el núcleo de regulación 43 del regulador adicional 4. Este está diseñado para, por medio de la desviación de tensión, determinarse señales de corrección para la entrada del regulador de potencia reactiva 24. En el ejemplo de realización representado, el núcleo de regulación 43 presenta para ello un miembro de curva característica conmutable 44, que tiene implementado un haz de distintas curvas características (en el ejemplo representado dos), así como un elemento multiplicador 45. La selección entre las curvas características puede provocarse según la especificación desde fuera, por el maestro de parque 8 o dado el caso también automáticamente por el control 2 de la turbina eólica 1.

Se hace referencia a la figura 5, en la que el haz está formado por dos curvas características. En primer lugar se explica la curva característica representada por medio de una línea continua. Está dividida en varias secciones: una rama inferior para una desviación de tensión de más del 10% de la tensión nominal, una rama superior para una desviación de más del +10% de la tensión nominal así como una zona principal en la banda de tensión entremedias. La pendiente de la curva característica en la zona principal se selecciona de modo que en el caso de una desviación de tensión del +10% o -10% resulta un valor de corrección para la corriente reactiva que va a alimentarse del +16% o -16% de la corriente nominal. En la rama inferior se selecciona una pendiente algo mayor de la curva característica, en la que el valor teórico para la corriente reactiva varía en aproximadamente el 20% del valor nominal respectivamente el 10% de desviación de tensión. Por el contrario, en la rama superior de la curva característica para la protección frente a sobretensión, está implementada una pendiente muy alta de la curva característica, de modo que ya con una desviación de tensión del +15% se emite la corriente reactiva posible como máximo (es decir, la corriente nominal). A partir de la corriente reactiva así determinada se calcula mediante multiplicación por la tensión en el elemento de multiplicación 45, un valor teórico para la potencia reactiva. Con una curva característica de este tipo puede conseguirse una buena velocidad de regulación, que es en particular adecuada para mejorar el comportamiento del parque eólico en conjunto con respecto a la especificación de potencia reactiva en el caso de variaciones de tensión. En particular estas curvas características son adecuadas para amortiguar oscilaciones de regulación entre las turbinas eólicas en un parque eólico con especificación de potencia reactiva en las turbinas eólicas individuales.

Una curva característica alternativa está representada con línea discontinua en la figura 5. Está dividida en cinco segmentos: una rama inferior, una meseta inferior, una zona principal, una meseta superior y una rama superior. La zona principal se extiende a lo largo de una zona más estrecha que en el caso de la curva característica explicada en primer lugar, en concreto en una zona del -5% al +5% de la tensión teórica. La pendiente de la curva característica lineal es claramente mayor que en la primera variante, de modo que en el caso de una desviación de ya el 5% está prevista una variación de la corriente reactivas a un nivel del 30%. Este valor del 30% para la corriente reactiva se mantiene también en la zona de meseta siguiente de la curva característica, que se extiende desde el 5% hasta el 10% de desviación tanto en el caso de la subtensión como también en el caso de la sobretensión. A esto le sigue para una tensión más baja, la rama inferior de la curva característica, que presenta una pendiente de manera correspondiente a la primera variante, es decir, aproximadamente el 20% de variación de la corriente reactiva para respectivamente el 10% de desviación de tensión. La rama superior presenta a su vez una pendiente claramente mayor, de modo que partiendo de una corriente reactiva del 30% para una sobretensión del 10% se consigue ya la corriente reactiva máxima (corriente nominal) con una sobretensión del +15%. En esta curva característica domina el elemento de la regulación de tensión. Este es entonces ventajoso cuando en el parque eólico se desea una regulación de tensión especialmente rápida para descartar de manera segura efectos negativos de variaciones de tensión.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, la pendiente de la curva característica en la zona principal puede seleccionarse de modo que corresponde a la pendiente de curva característica de la estática de potencia reactiva implementada en el maestro de parque 8. Con ello se consigue que en el caso de variaciones de tensión las turbinas eólicas individuales puedan reaccionar a la variación de tensión por medio del regulador adicional 4 de manera autárquica rápidamente mediante alimentación de potencia reactiva, mientras que, al mismo tiempo, en el marco mayor tiempo de reacción del maestro de parque 8 prologando principalmente por el tiempo de comunicación a través de la red de comunicación 7 se calculan valores teóricos corregidos por medio de su estática de tensión para las turbinas eólicas individuales, de modo que para los reguladores adicionales locales 4 de las turbinas eólicas 1 se devuelven de nuevo a su valor de partida. Dado el caso para ello son necesarios varios ciclos de iteración del maestro de parque 8, hasta que se ha alcanzado una precisión estacionaria. Sin embargo esto no es perjudicial, dado que gracias al regulador adicional 4 previsto en las turbinas eólicas 1 se asegura una reacción rápida y con ello una dinámica adecuada en conjunto.

Gracias a una unión de este tipo de la estática del maestro de parque 8 con el regulador adicional 4, la invención consigue con ello una clara mejora del comportamiento del parque eólico con respecto a la potencia reactiva con variaciones de tensión dentro y fuera de la banda de tolerancia prevista.

El regulador adicional 4 y el regulador de potencia reactiva 24 están unidos entre sí a través de conexión en serie. A este respecto, el regulador adicional 4 funciona como un filtro previo para el regulador de potencia reactiva 24, que a partir de su propio parámetro de guía (valor teórico de potencia reactiva) y la señal de ajuste del regulador adicional 4 calcula una señal de salida común que se transmite con el factor de guía a las turbinas eólicas 1. Es decir, por la estructura con regulador adicional 4, elemento diferencial 22, regulador de potencia reactiva 24 y realimentación a través del sensor de tensión 19 y elemento diferencial 41 se forma una unidad de unión 5.

Las turbinas eólicas 1 pueden hacerse funcionar en este sentido de distintas maneras. Así, en un primer tipo de funcionamiento, tal como se describe anteriormente, puede estar previsto que tanto la potencia reactiva teórica como la tensión de las turbinas eólicas individuales 1 por el maestro de parque 8. Este es el tipo de funcionamiento con unión completa. Permite una optimización muy flexible del comportamiento de la turbina eólica 1 en el parque eólico así como en la consecuencia de una optimización del comportamiento del parque eólico en conjunto con respecto a la red 9. Además, la especificación de una potencia reactiva teórica en las turbinas eólicas individuales 1 abre la posibilidad de que dado el caso puedan unirse equipos de compensación pasivos allí presentes en la regulación. Para la simplificación pueden estar previstos también otros comportamientos de funcionamiento con unión limitada. De este modo, en un segundo modo de funcionamiento, la especificación de la tensión teórica puede tener lugar además mediante el maestro de parque 8, mientras que en las turbinas eólicas está ajustada una potencia reactiva teórica constante. Este modo de funcionamiento ofrece la ventaja de una regulación de tensión muy rápida, para estabilizar así la tensión cedida y con ello en última instancia también la tensión cedida en conjunto por el parque eólico a la red 9. Además, esto permite una optimización de las pérdidas en el parque eólico y evitar sobretensiones indeseadas en turbinas eólicas individuales 1, en particular aquellas que en la red de conexión 3 se encuentran en el extremo de líneas de conexión más largas. Convenientemente en un parque eólico con varias turbinas eólicas está previsto que solo algunas de las turbinas eólicas tengan predeterminado un valor teórico de potencia reactiva constante. Un tercer modo de funcionamiento alternativo consiste en que la potencia reactiva teórica cedida se predetermina por el maestro de parque 8, mientras que el valor teórico para la tensión cedida es constante. Un modo de funcionamiento de este tipo puede ser conveniente en parques eólicos que presentan también turbinas eólicas sin regulación de tensión local. Este modo de funcionamiento se ofrece por lo tanto en particular para el reequipamiento. Por último es también posible un cuarto modo de funcionamiento, en el que tanto la tensión teórica como la potencia reactiva se sitúan en valores teóricos fijos. Con ello pueden unirse también turbinas eólicas 1, que se encuentran en puntos situados de manera muy desfavorable (líneas de conexión largas o conexión difícil a través de la red de comunicación 7). Es decir, la invención ofrece la flexibilidad de conseguir, también en turbinas eólicas muy problemáticas, una buena unión en el concepto de regulación general del parque eólico. Preferiblemente, el control 2, en un caso de este tipo ha de configurarse de tal manera que o bien la potencia reactiva predeterminada o bien la tensión teórica predeterminada tengan prioridad. En el primer caso mencionado es conveniente implementar una regulación lenta en el control 2, que

regula posteriormente el valor teórico de potencia reactiva lentamente de manera interna, de tal manera que en el caso de variaciones de tensión el regulador adicional se guía de nuevo de vuelta a su valor de partida.

5 Una segunda forma de realización del maestro de parque está representada en la figura 6. Se diferencia de la primera forma de realización representada en la figura 2 esencialmente por que está previsto un módulo de compensación adicional 80 para la tensión. En una entrada del módulo de compensación 80 está aplicado un valor de medición para la tensión determinada por medio del sensor de tensión 68 de la potencia eléctrica cedida por el parque eólico a la red 9. Una señal de salida del módulo de compensación 80 está aplicada como una entrada negativa adicional en el elemento diferencial 84 del maestro de parque 8. El módulo de compensación 80 presenta una característica D. Está diseñado para determinar, como control previo en caso de variaciones de la tensión, un valor de compensación que
10 corresponde aproximadamente a la influencia de la estática de tensión del maestro de parque 8. Con ello, puede corregirse el valor transmitido a las turbinas eólicas individuales 1 para la potencia reactiva teórica ya en la cantidad del regulador adicional local 4. Con ello se contrarresta claramente el riesgo de excesos en el caso de variaciones de tensión repentinas.

15 En el segundo ejemplo de realización representado en la figura 7 de la turbina eólica, en el control 2 está previsto un módulo de control de emergencia 21. Está diseñado para proporcionar, en ausencia de una señal para la potencia reactiva teórica, un valor sustituto. Para ello, el módulo de control de emergencia 21 actúa con su salida sobre el elemento diferencial 22. Para permitir con el módulo de control de emergencia 21 una regulación, antes de este está conectado un elemento diferencial 20, que determina una diferencia a partir de la potencia reactiva teórica determinada por el maestro de parque 8 y la potencia reactiva teórica alimentada realmente, y la aplica en el módulo de control de
20 emergencia como señal de entrada. Por lo tanto, también en el caso de una caída de la red de comunicación 7 puede llevarse a cabo una regulación de potencia reactiva en la turbina eólica 1. En este caso se regula opcionalmente a un valor estándar memorizado o a un valor medio de los valores de potencia reactiva teórica transmitidos en último lugar. Para el soporte adicional, preferiblemente el regulador adicional 4 permanece además activo.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Parque eólico con al menos dos turbinas eólicas (1), que presenta un generador (15) con un convertidor (17) para la generación de energía eléctrica y un control (2), un maestro de parque (8), que está diseñado para el control de potencia activa y reactiva, y transmite una señal de control para potencia reactiva a través de una red de comunicación (7) a las turbinas eólicas (1), y una red de conexión (3), que conecta las turbinas eólicas (1) entre sí para alimentar la energía eléctrica generada a una red (9) a través de un punto de unión (69), en donde al menos una de las turbinas eólicas (1) presenta un regulador de potencia reactiva (24), en cuya entrada está aplicado un valor teórico de potencia reactiva y que actúa sobre el convertidor (17) para ajustar una potencia reactiva correspondiente al valor teórico de potencia reactiva,
- 10 en donde la turbina eólica (1) presenta un regulador adicional (4), en cuya entrada, desde el maestro de parque, (8) está aplicada una señal para una tensión teórica y que emite señales de control para el convertidor (17) para la modificación de la potencia reactiva cedida, para regular la tensión saliente de las turbinas eólicas (1) a la tensión teórica, estando formada una unidad de unión (5), que conecta entre sí el regulador de potencia reactiva (24) y el regulador adicional (4) entre sí de tal manera que está formada una señal de control común para el convertidor (17).
- 15 2. Parque eólico según la reivindicación 1,
- en donde la unidad de unión (5) presenta factores de ponderación variables para el regulador de potencia reactiva (24) un regulador adicional (4).
3. Parque eólico según la reivindicación 1 o 2,
- 20 en donde la unidad de unión (5) está configurada de modo que la potencia reactiva se modifica linealmente con la tensión en una banda de tolerancia de tensión y no linealmente fuera de los límites de la banda de tolerancia de tensión.
4. Parque eólico según una de las reivindicaciones 1 a 3,
- en donde la unidad de unión comprende un filtro previo para el regulador de potencia reactiva (24) o el regulador adicional (4),
- 25 en donde el filtro previo presenta un miembro de curva característica (43).
5. Parque eólico según una de las reivindicaciones 1 a 4,
- en donde al regulador de potencia reactiva (24) está conectado un control de emergencia (21), que en ausencia de una señal de control para potencia reactiva desde el maestro de parque (8) proporciona un valor sustituto preferiblemente memorizado.
- 30 6. Parque eólico según una de las reivindicaciones 1 a 5,
- en donde el maestro de parque (8) comprende un módulo de conversión (82), que presenta una entrada para una tensión teórica de parque y cuya salida actúa sobre el control de potencia reactiva (88).
7. Parque eólico según una de las reivindicaciones 1 a 6,
- 35 en donde está previsto un módulo de compensación (80) en el maestro de parque (8), en cuya entrada está aplicada la tensión real y cuya señal de salida para la compensación actúa sobre el control de potencia reactiva (88).
8. Procedimiento para hacer funcionar un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas (1), que presenta un generador (15) con un convertidor (17) para la generación de energía eléctrica y un control (2), un maestro de parque (8), que está diseñado para el control de potencia activa y reactiva y transmite una señal de control para potencia reactiva a través de una red de comunicación (7) a la turbina eólica (1) y una red de conexión (3), que conecta las turbinas eólicas (1) entre sí para alimentar la energía eléctrica generada a una red (9) a través de un punto de unión (69), en donde en al menos una de las turbinas eólicas (1) tiene lugar una regulación de la potencia reactiva por medio de un regulador de potencia reactiva (24), en cuya entrada está aplicado un valor teórico de potencia reactiva y que actúa sobre el convertidor (17) para el ajuste de una potencia reactiva,
- 40 que comprende aplicar una señal para una tensión teórica en la al menos una turbina eólica (1) por el maestro de parque (8) y regular la tensión cedida mediante modificación de la potencia reactiva cedida por el convertidor (17) a la tensión teórica por medio de un regulador adicional (4), y unir el regulador de potencia reactiva (24) y el regulador adicional (4) de tal manera que se forma una señal de control común para el convertidor (17).
- 45 9. Procedimiento según la reivindicación 8,
- en donde la unión tiene lugar por medio de factores de ponderación variables.

10. Procedimiento según la reivindicación 8 o 9,

en donde la unión tiene lugar de manera que la potencia reactiva se modifica linealmente con la tensión en una banda de tolerancia de tensión y no linealmente fuera del límite de la banda de tolerancia de tensión.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 10,

5 en donde la unión tiene lugar mediante una filtración previa de las señales de entrada para el regulador adicional (4) o el regulador de potencia reactiva (24), usándose para la filtración previa un miembro de curva característica (43).

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 11,

que comprende regular la tensión en el punto de unión (69) del parque eólico a un valor teórico por medio de un módulo de control de tensión (82) que actúa sobre el control de potencia reactiva.

10 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 12,

que comprende generar una señal de control previo de la tensión teórica en función de la tensión cedida real del parque eólico para la compensación del regulador adicional.

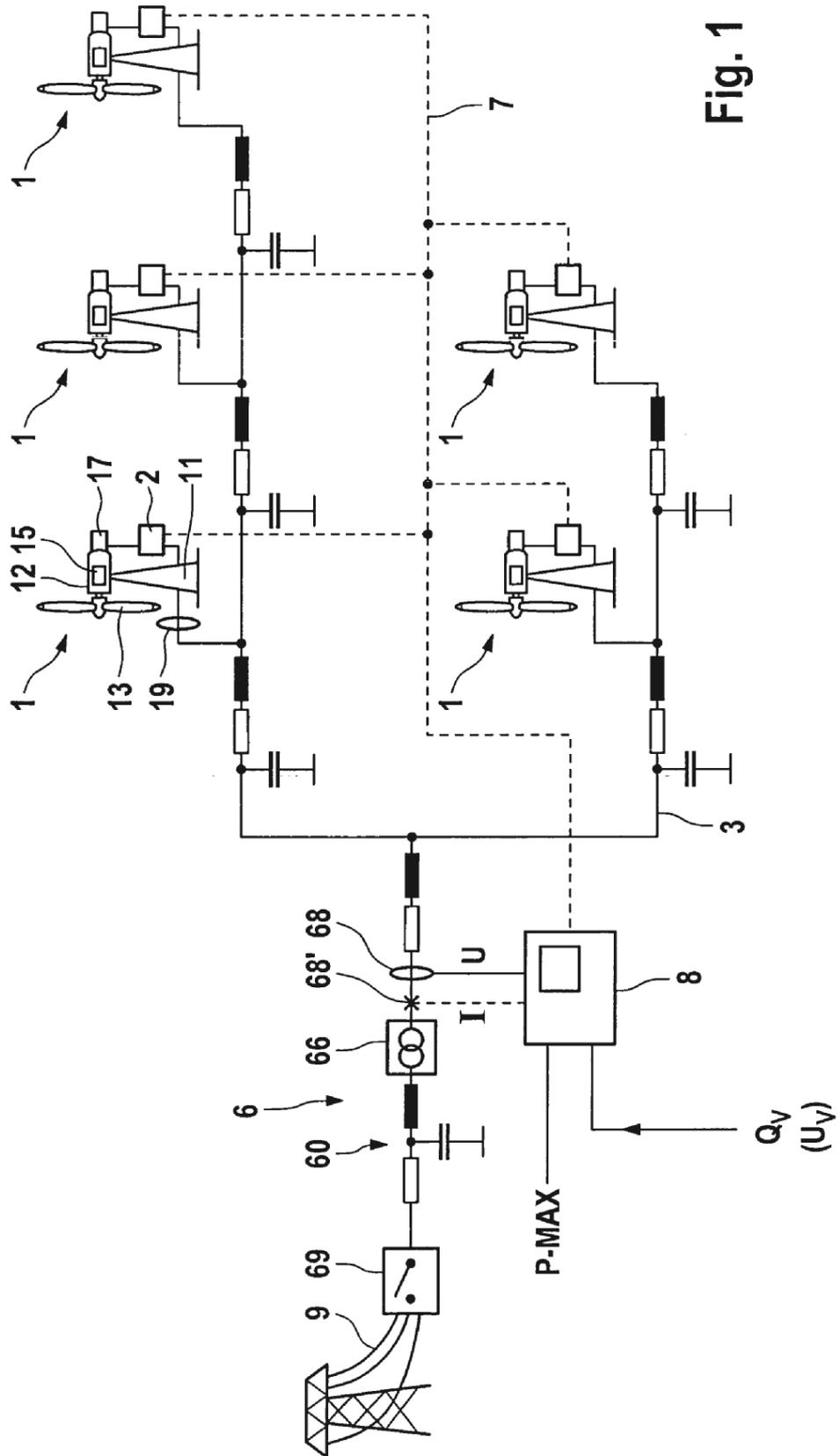


Fig. 1

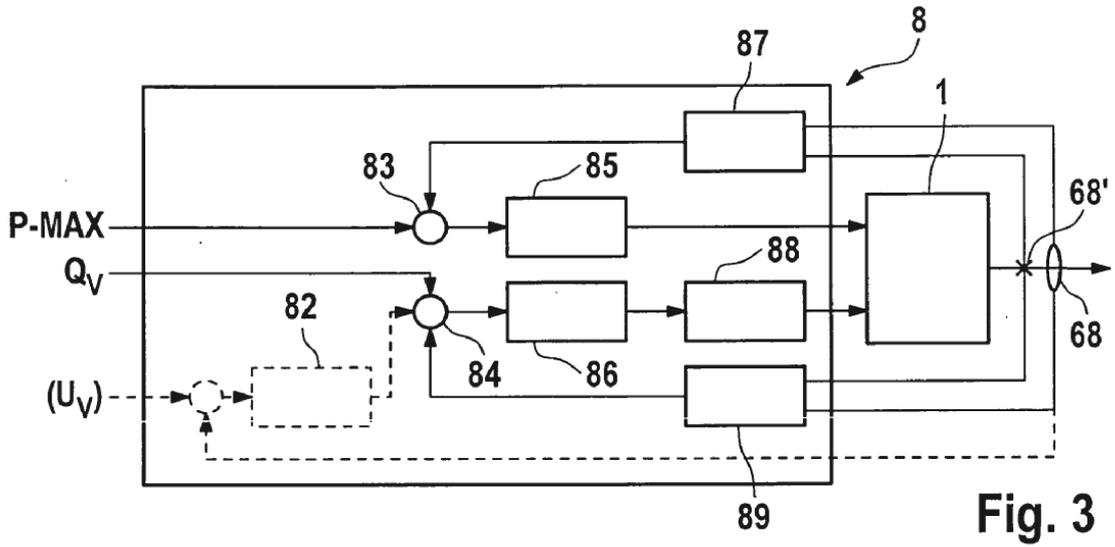


Fig. 3

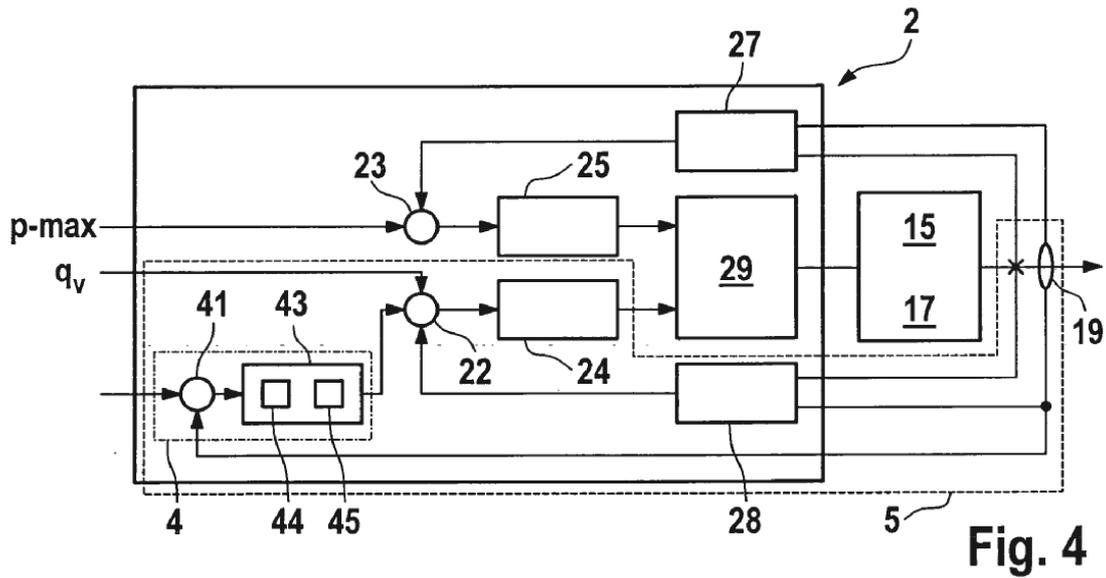


Fig. 4

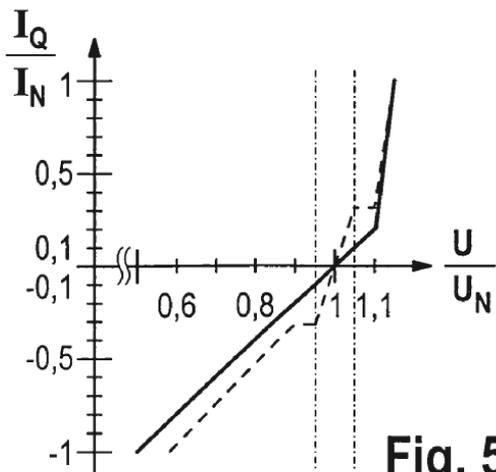


Fig. 5

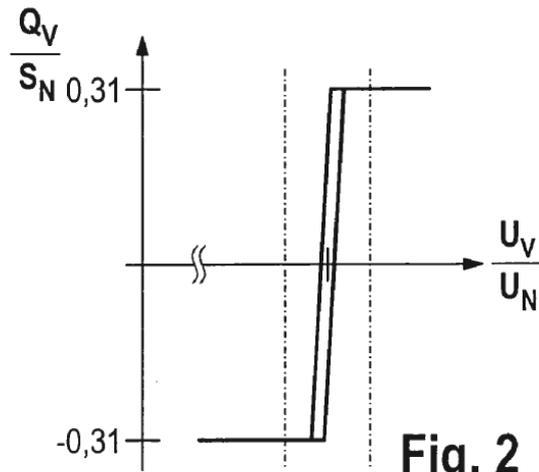


Fig. 2

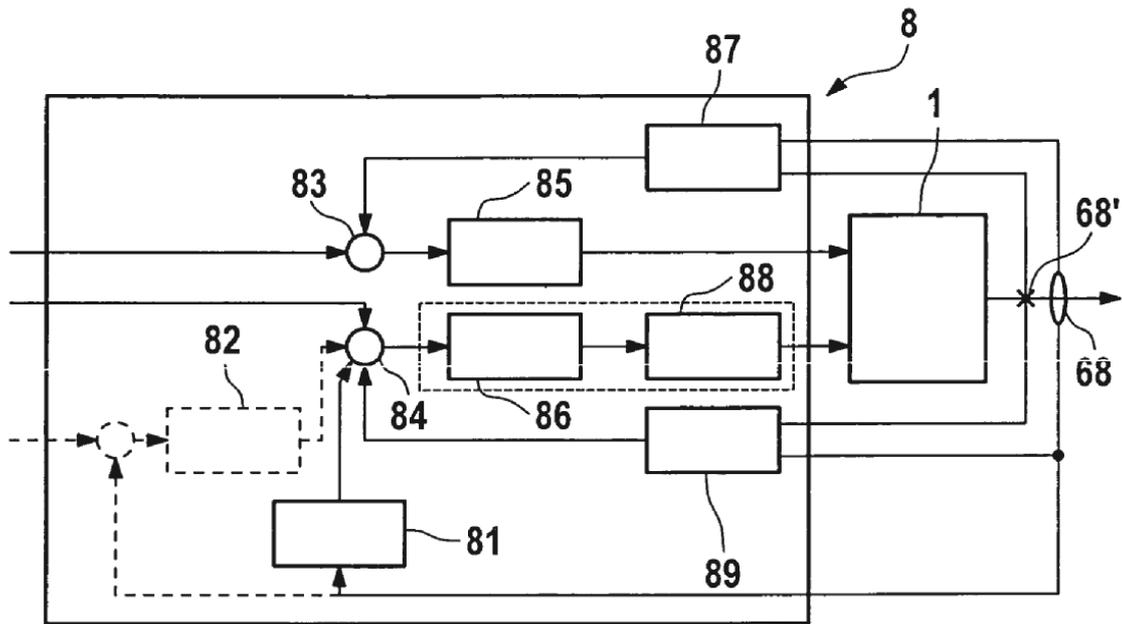


Fig. 6

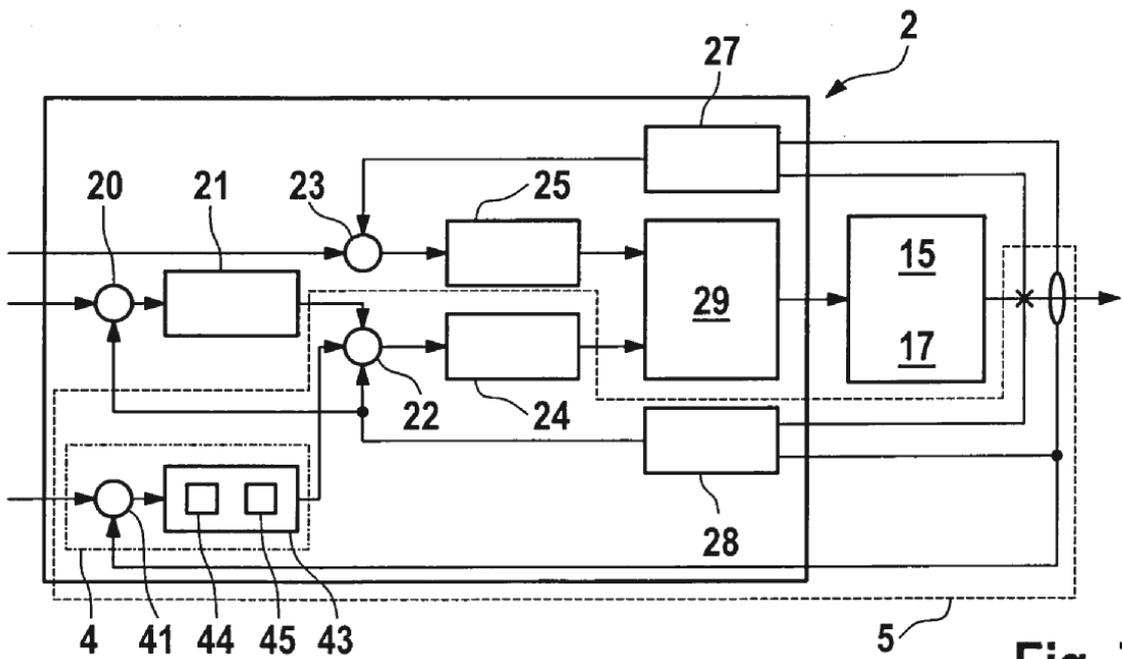


Fig. 7