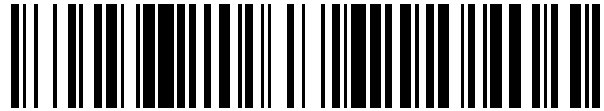


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 686**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2008 E 08735250 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2016 EP 2143186**

54 Título: **Instalación de energía eólica con valor de consigna de potencia reactiva**

30 Prioridad:

19.04.2007 DE 102007018888

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

28.03.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LETAS, HEINZ-HERMANN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 564 686 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Instalación de energía eólica con valor de consigna de potencia reactiva.

5 La invención concierne a una instalación de energía eólica con un rotor, un generador accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia para alimentar potencia eléctrica a una red a través de una línea de unión y un dispositivo de control, comprendiendo el dispositivo de control un controlador del convertidor de frecuencia que está concebido para controlar una porción de potencia reactiva de la potencia según un valor de consigna.

10 Para ampliar la generación de energía eléctrica por medio de energía eólica se eligen instalaciones de energía eólica y parques eólicos con una potencia cada vez mayor. Éstos se encuentran preferiblemente en emplazamientos con una gran oferta de viento, tal como especialmente en eminencias del terreno, en las costas o mar adentro. Estos emplazamientos tienen en común el hecho de que están situados casi siempre en territorios poco poblados o incluso no poblados, en los que la red eléctrica presenta una pequeña capacidad. No obstante, para conservar una calidad de suministro suficientemente elevada se imponen requisitos acrecentados a las instalaciones de energía eólica o a los parques eólicos con respecto a su compatibilidad con la red.

15 Un criterio importante para un funcionamiento seguro y regular concierne a la alimentación de potencia reactiva. Los criterios de conexión de muchos operadores de redes establecen estrechos valores de consigna con respecto al factor de potencia. Importan en este caso las condiciones en la conexión a la red. Usualmente, las instalaciones de energía eólica están conectadas a la red a través de un transformador de media tensión, una línea de unión y eventualmente un transformador de alta tensión. Todos estos componentes forman reactancias e influyen así sobre el factor de potencia. Para atenerse a los criterios de conexión se tiene que mantener el factor de potencia dentro de límites prefijados y éste no puede variarse de manera incontrolada.

20 Se puede conseguir un control del factor de potencia midiendo éste en el punto de conexión a la red y regulando adicionalmente la instalación de energía eólica o el parque eólico de manera correspondiente en caso de divergencias. Es conocido a este respecto el recurso de equipar las instalaciones de energía eólica dotadas de generadores asíncronos con convertidores de frecuencia completamente controlables (documentos US-A-5,225,712 y Mariusz Malinowski et al.: "Control of Variable-Speed Type Wind Turbines Using Direct Power Control Space Vector Modulated 3-Level PWM Converter"). Está previsto un controlador de convertidor de frecuencia que determina el ángulo de fase de la potencia entregada mediante una conexión deliberada de los elementos activos del convertidor de frecuencia y que fija así el factor de potencia de la potencia entregada a la red. Para determinar el factor de potencia en el punto de conexión se ha previsto una sensórica relativamente complicada que determina en fase correcta tanto la intensidad de corriente como la tensión.

Un control de la potencia reactiva en un parque eólico es conocido por el documento EP 1512869 A1.

35 Asimismo, es conocido el recurso de medir la potencia entregada por la instalación de energía eólica con respecto a su porción de potencia reactiva y compararla con un valor de consigna (documento US-A-2006/0012181). Partiendo de la divergencia se determina un defecto en la potencia reactiva y partiendo de éste se determinan, teniendo en cuenta adicionalmente la tensión en los bornes de conexión, unos parámetros de activación modificados para el generador. En este concepto la potencia reactiva está desacoplada de la potencia activa, de modo que no puede garantizarse el mantenimiento de un determinado factor de potencia.

La invención se basa en el problema de crear, partiendo del estado de la técnica primeramente citado, una instalación de energía eólica mejorada o un parque eólico y un procedimiento de funcionamiento.

40 La solución según la invención reside en las características de las reivindicaciones independientes. Perfeccionamientos ventajosos son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

45 En una instalación de energía eólica con un rotor, un generador accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia para la alimentación de potencia eléctrica a una red a través de una línea de unión y un dispositivo de control, comprendiendo el dispositivo de control un controlador del convertidor de frecuencia que está concebido para controlar una porción de potencia reactiva de la potencia según un valor de consigna, se ha previsto según la invención un módulo de control primario para emitir una señal para una potencia reactiva teórica, el cual está concebido para determinar en forma guiada por la corriente la potencia reactiva teórica en función de una medida de flujo de corriente.

A continuación se explicarán algunos términos empleados.

50 Por en forma guiada por la corriente se entiende que la determinación de la potencia reactiva teórica se basa tan sólo o al menos principalmente en la corriente. No cae bajo el término de en forma guiada por la corriente una determinación en la que se recurre con igual rango a la corriente y a la tensión.

Por módulo de control primario se entiende un dispositivo que funciona como controlador propiamente dicho. Éste es

el que vincula la magnitud de guía (flujo de corriente) con la magnitud de ajuste deseada (potencia reactiva). El módulo de control primario debe diferenciarse de módulos de control secundario opcionales que modifican la magnitud de ajuste, según sea necesario, en función de parámetros adicionales.

5 La invención se basa en la idea de proporcionar con el valor de consigna de potencia reactiva dependiente de la corriente un procedimiento de control sencillo, pero con el cual se consiga una buena adaptación de la potencia reactiva. La invención ha reconocido que con la toma del flujo de corriente como magnitud de guía no sólo se proporciona una magnitud de guía fácil de manejar, sino que se puede conseguir así también adicionalmente una adaptación de la potencia reactiva a la potencia activa. Gracias a la invención, se puede prescindir de dispositivos complicados para determinar el factor de potencia como los que se emplean en el estado de la técnica. Es cierto que
10 la adaptación no es forzosamente perfecta cuando se emplea la corriente aparente como medida del flujo de corriente, sobre todo por que ésta se modifica inmediatamente también por efecto de variaciones de la potencia reactiva. Sin embargo, esto no supone sorprendentemente ninguna desventaja para el resultado conseguido. En efecto, la invención se aprovecha a este respecto de la circunstancia de que precisamente en los importantes dominios de potencia más altos se diferencian tan sólo un poco la corriente aparente y la corriente activa, de modo
15 que con la corriente aparente se hace posible según la invención una aproximación muy buena de la potencia reactiva necesaria.

Otra ventaja de la invención reside en que hace posible con poco coste que se tengan en cuenta reactancias de la línea de unión, especialmente de transformadores para media y/o alta tensión. Por medio de los parámetros eléctricos conocidos de la línea de unión se puede determinar el modo en que hay que ajustar el generador para
20 suministrar, con el respectivo flujo de corriente, la potencia reactiva deseada en el punto de conexión a la red. La invención hace posible así una compensación de reactancias más rápida y más exacta que la de una regulación convencional basada en el factor de potencia. Vincula ventajas respecto de la exactitud con una sencilla capacidad de utilización. Es adecuada tanto para reactancias conectadas en serie, tales como inductancias de transformadores, inductancias de dispersión o inductancias de línea, como también para reactancias conectadas en paralelo, tal como una inductancia principal de transformador o una capacidad de línea.
25

Preferiblemente, el módulo de control primario comprende un modelo de trayecto de la línea de unión entre la instalación de energía eólica y el punto de conexión a la red. En el modelo de trayecto pueden tenerse en cuenta los medios de servicio que unen la instalación de energía eólica con la red. Los medios de servicio reducen la potencia activa debido a las pérdidas activas que se producen en ellos, pero se presentan también regularmente en ellos
30 unas pérdidas reactivas que desplazan la potencia reactiva alimentada a la red en dirección "inductiva" o "capacitiva". Resulta así en la red un factor de potencia distinto del de la propia instalación de energía eólica. El modelo de trayecto está concebido para determinar un valor estimativo de la potencia reactiva a partir de la medida del flujo de corriente. En el modelo de trayecto no necesitan ser captados todos los medios de servicio, sino que es suficiente captar los dominantes. La invención ha reconocido que éstos son un transformador de media tensión
35 (dispuesto casi siempre en la instalación de energía eólica) y opcionalmente un transformador de alta tensión (dispuesto en la conexión de la línea de unión a la red). Sus reactancias son X_T y X_H , respectivamente. Si, por ejemplo, la caída de tensión asciende a

$$U_1 = X * I \quad (1)$$

resulta entonces con una reactancia de

$$40 \quad X = X_T \quad (2)$$

para el transformador de media tensión, o bien opcionalmente para los transformadores de media y alta tensión, despreciando la línea en sí,

$$X = X_T + X_H = C * X_T \quad (3)$$

una potencia reactiva teórica en un sistema trifásico

$$45 \quad Q = 3 * U_1 * I = 3 * C * X_T * I^2 \quad (4),$$

en donde

$$C = 1 + \frac{X_H}{X_T} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta el modelo de trayecto se posibilita que se determine el modo en que, partiendo de la instalación

de la propia instalación de energía eólica, se modifica el factor de potencia hasta la red a través de los medios de servicio. El modelo de trayecto permite un cálculo referente a qué potencia reactiva ha de ajustarse la instalación de energía eólica para conseguir en la red un factor de potencia objetivo deseado (y requerido por las directrices de conexión). El modelo de trayecto hace así posible una regulación efectiva hacia delante, es decir que solamente a partir del flujo de corriente de la instalación de energía eólica se puede determinar el factor de potencia en la red. De esta manera, se pueden compensar las pérdidas reactivas de los medios de servicio a lo largo de la línea de unión de una manera asombrosamente sencilla y efectiva.

Es especialmente conveniente que el modelo de trayecto comprenda un miembro funcional de segundo orden (conteniendo al menos un término cuadrático y eventualmente un término lineal y constante). El miembro funcional de segundo orden forma la relación anteriormente citada. Hace posible una compensación sencilla y exacta hacia delante, en la que mediante una medición de corriente, que puede efectuarse en la instalación de energía eólica, se puede determinar la potencia reactiva en el punto de conexión de la línea de unión con la red.

En muchos casos, lo más sencillo es la determinación del valor del flujo de corriente mediante una medición directa. Sin embargo, el valor del flujo de corriente puede determinarse de otra manera. Puede estar contemplado también prever un observador para determinar la medida del flujo de corriente que determine una medida sustitutiva de la medida del flujo de corriente a partir de un parámetro diferente, preferiblemente al menos dos parámetros diferentes. Con el observador se hace posible determinar también un valor no directamente medido o mensurable. El observador permite prescindir de la medición de la corriente. Gracias al observador es así superflua una sensórica de medida propia para la corriente, lo que es ventajoso especialmente en las instalaciones de energía eólica de altas clases de potencia empleadas cada vez con más frecuencia o en parques eólicos grandes. En una forma de realización especialmente ventajosa, que merece eventualmente una protección independiente, el observador y el módulo de control primario están construidos en forma integrada. La integración hace posible determinar también directamente, sin cálculo de valores intermedios, la potencia reactiva teórica deseada a partir de los parámetros empleados para el observador. Gracias a que se prescinde de magnitudes intermedias, pueden elegirse modos de cálculo numéricamente eficientes. Por ejemplo, el observador puede estar concebido de modo que se determine una medida del flujo de corriente a partir de parámetros existentes de todos modos en el controlador del convertidor de frecuencia, tales como, por ejemplo, el número de revoluciones entregado del rotor eólico, el par entregado del motor y/o la tensión de la red. Sin embargo, esto no es forzoso, ya que puede emplearse también una magnitud intermedia a la que no le corresponde ningún significado físico propio. Con un observador de esta clase la invención combina un pequeño coste metrotécnico con un cálculo eficiente que es perfectamente adecuado para su implementación en un procesador de funcionamiento numérico.

Además del módulo de control primario, puede estar previsto un módulo de corrección en el controlador del convertidor de frecuencia. Este módulo está concebido para determinar en función de la tensión un valor de corrección para la potencia reactiva teórica. En principio, puede ocurrir que a una tensión demasiado alta sin compensación se emita un valor teórico de potencia reactiva superelevado; recíprocamente, a una tensión demasiado baja se emitiría un valor teórico de potencia reactiva demasiado pequeño. La tensión se mide preferiblemente en la instalación de energía eólica, concretamente en el plano de media tensión; sin embargo, no debe quedar excluida una medición antes del transformador de media tensión o en el transformador de alta tensión. Se hace así posible corregir el valor del flujo de corriente en función de la tensión de modo que el módulo de control primario compense la corriente determinada a cualquier tensión como si se presentara una tensión nominal u otra tensión de referencia elegida. Puede estar previsto para ello actuar con el módulo de corrección sobre un exponente en el módulo de control primario para desviarlo del valor nominal "dos" para el exponente, por ejemplo en el caso del miembro funcional de segundo orden. La determinación del valor teórico de la potencia reactiva según la invención a partir de un valor de flujo de corriente resulta ser así independiente de la tensión realmente existente. Asimismo, el módulo de corrección puede perfeccionarse ventajosamente de modo que compense capacidades de línea y/o inductancias principales de transformador. Sus reactancias repercuten sobre el factor de potencia en función de la tensión. Mediante una variación correspondientemente adaptada del valor de consigna de la potencia reactiva se puede conseguir así también una compensación para estos medios de servicio.

Asimismo, puede estar previsto un módulo de corrección baja carga parcial. Se ha visto que con un descenso deliberado del valor teórico de la potencia reactiva con respecto al valor fundamental calculado puramente en función de la corriente se puede conseguir una mejora de la estabilidad del comportamiento de la potencia reactiva bajo carga parcial. Convenientemente, esto tiene lugar debido a que, como ya se ha explicado anteriormente, se varía el exponente del módulo de control primario, concretamente de preferencia en el intervalo entre uno y dos.

Preferiblemente está previsto un módulo de limitación para la potencia reactiva teórica. Éste puede estar conectado detrás del módulo de control primario y concebido para limitar la potencia reactiva teórica a un rango preajutable. Por ejemplo, puede estar previsto como límite inferior un valor de cero y, por tanto, la potencia reactiva teórica puede estar limitada al rango del funcionamiento superregulado. Se ha visto que un cambio entre potencia reactiva teórica positiva y negativa puede repercutir desfavorablemente sobre la estabilidad del sistema de la instalación de energía eólica. Como límite superior puede estar previsto, por ejemplo, un valor constante que corresponda a un factor de potencia deseado a aproximadamente la mitad de la carga de la instalación de energía eólica. A una carga más alta

5 y correspondientemente con una mayor potencia activa alimentada por la instalación de energía eólica, la potencia reactiva teórica se mantiene entonces limitada constantemente al valor del límite superior, es decir que varía el factor de potencia. La invención ha reconocido que se contrarresta así el peligro de puntos de funcionamiento inestables de la instalación de energía eólica. Además, esto ofrece la ventaja de que, gracias a la limitación de la potencia reactiva teórica a un límite superior, los componentes implicados necesitan ser diseñados con un tamaño menos grande, concretamente en lo que se refiere particularmente a un funcionamiento a subtensión. Por tanto, con la limitación se combinan sorprendentemente una con otra las ventajas relativas a la seguridad de funcionamiento y a la baratura.

10 La invención se refiere de manera correspondiente a un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica y un gestor del parque, determinándose por el gestor del parque valores para la potencia reactiva teórica y transmitiéndose éstos a las instalaciones de energía eólica. A este fin, el gestor del parque presenta un dispositivo de control de potencia reactiva que dispone de un módulo de control primario. Éste está concebido para determinar, para las diferentes instalaciones de energía eólica del parque eólico valores, para la respectiva potencia reactiva teórica en una forma guiada por la corriente en función de una medida del flujo de corriente. Los valores se transmiten a las instalaciones de energía eólica y el respectivo dispositivo de control local de las instalaciones de energía eólica ajusta adecuadamente el convertidor de frecuencia.

Asimismo, la invención se extiende a procedimientos correspondientes de funcionamiento de una instalación de energía eólica o de un parque eólico. Para una descripción más detallada, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

20 La invención se explica seguidamente con más detalle haciendo referencia al dibujo, en el que se representa un ejemplo de realización ventajoso. Muestran:

La figura 1, una vista esquemática de una instalación de energía eólica según la invención;

La figura 2, una vista esquemática de un convertidor de frecuencia y su controlador;

La figura 3, un esquema eléctrico equivalente de una línea de unión;

25 La figura 4, una vista de detalle del controlador del convertidor de frecuencia según un primer ejemplo de realización;

La figura 5, una vista de detalle del controlador del convertidor de frecuencia conforme a un segundo ejemplo de realización;

La figura 6, una vista de detalle del controlador del convertidor de frecuencia según un tercer ejemplo de realización;

La figura 7, una vista esquemática de un parque eólico según la invención; y

30 La figura 8, diferentes curvas características para la potencia reactiva alimentada.

En la figura 1 se representa un ejemplo de realización para una instalación de energía eólica según la invención. Ésta comprende una torre 10 con una sala de máquinas 11 dispuesta de manera basculable sobre ella. En uno de sus lados frontales está dispuesto en forma giratoria un rotor eólico 12 y éste está unido con un generador 3 a través de un árbol de accionamiento. El generador 3 consiste preferiblemente en una máquina asíncrona doblemente alimentada, pero pueden emplearse también otras clases de construcción tales como máquinas síncronas, asíncronas o permanentemente excitadas. El generador 3 está unido eléctricamente con un convertidor de frecuencia 4 y también con una línea 15. El convertidor de frecuencia 4 puede estar construido y conectado como un convertidor de frecuencia total o parcial. Para controlar el funcionamiento de la instalación de energía eólica se ha previsto un dispositivo de control 5. Éste está concebido para realizar el guiado del funcionamiento de la instalación de energía eólica. Comprende para ello un controlador 6 del convertidor de frecuencia. Éste está concebido para hacer funcionar el convertidor de frecuencia 4 - dicho más exactamente sus elementos de conexión activos - con ayuda de valores de consigna ajustables. Esto se explicará más adelante con mayor detalle todavía. La potencia eléctrica generada por el generador 3 es conducida hasta la base de la torre 11 a través de la línea 15. Allí está conectada una línea de unión 7 cuyo otro extremo está conectado a una red 9 de transmisión de energía de alta tensión. La línea de unión 7 comprende como componentes un transformador 71 de media tensión, un sistema 72 de línea de media tensión y un transformador 73 de alta tensión.

En el sistema de línea de media tensión pueden estar conectadas otras instalaciones de energía eólica 1' que estén construidas igual o análogamente que la instalación de energía eólica 1. En caso de que estén agrupadas varias instalaciones de energía eólica 1, 1', puede estar formado entonces un parque eólico con un gestor de parque 8 (véase la figura 7). La cooperación del gestor 8 del parque con las instalaciones de energía eólica 1, 1' se explicará más adelante con mayor detalle.

El dispositivo de control 5 y su cooperación con otros componentes de la instalación de energía eólica están representados en la figura 2, en la que, por motivos de una mayor claridad, se ha elegido una representación

monofásica. El generador 3 está construido como una máquina asíncrona doblemente alimentada y comprende un estator 31 y un rotor 32. El primeramente citado está conectado directamente a la línea 15 y a la línea de unión 7, mientras que el último está unido con ella a través de un convertidor de frecuencia 4. El convertidor de frecuencia 4 comprende un inversor 41 del lado de la máquina, un circuito intermedio 42 y un inversor 43 del lado de la red. La constitución de tal convertidor de frecuencia es en sí conocida y no necesita explicarse con mayor detalle. Es importante que al menos uno de los inversores 41, 43 presente elementos de conexión activos controlables (no representados), tales como especialmente GTO o IGBT. El inversor del lado de la red está conectado a la línea 15 que viene del estator. Entre este punto y el transformador 71 de media tensión está previsto un sensor de corriente 51. Éste mide toda la corriente generada por el generador 3 y entregada a la red 9 y la emite como un valor de flujo de corriente I. El valor de flujo de corriente I está conectado a una entrada 56 del controlador 6 del convertidor de frecuencia. Su constitución y funcionamiento se explican seguidamente con más detalle. El controlador del convertidor de frecuencia emite en una salida 61 una señal teórica Q de potencia reactiva que se aplica al convertidor de frecuencia 4 a través del dispositivo de control 5.

El controlador 6 del convertidor de frecuencia presenta en su forma básica, tal como se representa en la figura 4, un módulo de control primario 61. Éste está concebido para determinar a partir de una medida de flujo de corriente aplicada a la entrada 56 un valor para una potencia reactiva teórica que se emite en la salida 61 y se ajusta por medio del convertidor de frecuencia 4. El módulo de control primario 61 presenta para ello un modelo de trayecto sencillo que consiste en un miembro funcional de segundo orden como miembro 621 de elevación al cuadrado y un miembro proporcional 622 que produce una multiplicación por un valor ajustable C. El modelo de trayecto simplificado se basa en las consideraciones siguientes: El transformador 71 de media tensión (y los cortos sistemas 72 de línea de media tensión) pueden considerarse de manera simplificada con exactitud suficiente en un esquema eléctrico equivalente R-X (véase la zona izquierda de la figura 3). A un flujo de corriente I se presentan en estos componentes unas pérdidas activas

$$P_v = 3 * R * I^2 \quad (6)$$

y unas pérdidas reactivas

$$Q_v = 3 * X * I^2 \quad (7)$$

Las pérdidas reactivas generadas realmente durante el funcionamiento vienen determinadas prácticamente de forma directa por la corriente y dependen del cuadrado de ella. Por tanto, en lugar de una consideración de potencia reactiva complicada o un cálculo de factor de potencia complicado, la invención prevé determinar el valor teórico de la potencia reactiva de una forma guiada por la corriente, concretamente según la fórmula

$$Q = C * 3 * X * I^2 \quad (8)$$

con C como factor de ampliación para determinar la adaptación. La medida del flujo de corriente es la corriente I medida por el sensor de corriente 34. Se forma a partir de ésta por elevación al cuadrado una medida de potencia que se escala adecuadamente por multiplicación por el valor 3*C*X. Para el valor C se cumple en este caso lo siguiente: Si se debe compensar solamente el transformador de media tensión, entonces C = 1, si se debe efectuar solamente una compensación parcial, entonces C está en el intervalo entre 0 y 1, y cuando se deben compensar impedancias adicionales tales como el transformador de alta tensión, entonces C está en el intervalo entre 1 y 3. Puede elegirse eventualmente C en el intervalo entre 0 y -3 cuando deba generarse potencia reactiva durante el funcionamiento subexcitado. Esto último hace posible la utilización de la invención también en redes débiles con largas líneas hasta la instalación de energía eólica.

En la figura 8a se muestra un diagrama que representa la evolución del factor de potencia $\cos \varphi$ (COSPFI) conseguido con el valor de consigna de potencia reactiva guiado por la corriente según la invención en función de la potencia activa (0 a 4000 kW) a diferentes tensiones, concretamente tanto para la tensión nominal (690 voltios) como para una sobretensión del 10% (759 voltios) y correspondientemente una subtensión del 10% (621 voltios). El diagrama se basa en un diseño para un factor de potencia objetivo de 0,975 a una potencia activa de 2000 kW y una tensión nominal de 690 voltios (en la línea 15). Se aprecia con claridad que especialmente en la zona de la tensión nominal se alcanza bien el factor de potencia objetivo a lo largo de una amplia zona, con una reducción absolutamente deseada a potencia muy baja.

Para la medida I del flujo de corriente se emplea la corriente aparente en el ejemplo de realización representado. El sensor de corriente 51 empleado para ello puede estar construido de manera relativamente sencilla. En la mayoría de los casos de aplicación el factor de potencia requerido no es sensiblemente diferente de 1 (por ejemplo, 0,95 o 0,9), de modo que la porción de potencia reactiva es pequeña en comparación con la porción de potencia activa. Por tanto, la corriente aparente I no se diferencia sensiblemente de la corriente activa, de modo que como valor de flujo de corriente para la invención se puede emplear la corriente aparente más fácil de obtener. Sin embargo, no debe quedar excluido que se aproveche la corriente activa como valor del flujo de corriente.

Es cierto que es suficiente para la invención un sencillo sensor de medida 51 para la determinación de la medida del flujo de corriente, pero circula por éste toda la corriente de la instalación de energía eólica. Por tanto, el sensor de medida tiene que ser de grandes dimensiones y es correspondientemente caro. Como alternativa a la medición directa, puede estar previsto determinar la medida del flujo de corriente indirectamente a partir de al menos otro parámetro. A este fin, puede estar previsto un observador que determine indirectamente la medida del flujo de corriente a partir del otro parámetro (véase la figura 5). Preferiblemente, se aprovechan para ello aquellos parámetros que están presentes de todos modos en el dispositivo de control 5 de la instalación de energía eólica 1 o en el controlador 6 del convertidor de frecuencia. Se ha visto que especialmente el número de revoluciones N del rotor eólico 12 es un parámetro adecuado. En las modernas instalaciones de energía eólica con cabeceo regulado se mantiene el número de revoluciones N bajo carga parcial en una relación constante con la velocidad del viento, la cual a su vez es determinante de la potencia generada por la instalación de energía eólica. Por tanto, para obtener la medida del flujo de corriente puede estar previsto opcionalmente un observador 63 al que se aplica como parámetro el número de revoluciones N del rotor eólico. El observador 63 puede estar concebido de modo que se determine una potencia multiplicando el número de revoluciones N por el par de giro M en un miembro de multiplicación 631 y se determine a partir de ello por división 632, teniendo en cuenta una señal de tensión según una referencia de tensión 413, un valor para la medida del flujo de corriente. El observador 63 determina así la medida del flujo de corriente a partir de valores teóricos.

Asimismo, puede estar previsto un módulo de corrección 60 bajo carga parcial. Éste está concebido para reducir bajo carga parcial el valor teórico de potencia reactiva calculado en función de la corriente. Puede estar previsto para ello un miembro de curva característica que, según la carga, prevea una reducción de la potencia reactiva en un porcentaje determinado. Es más conveniente una acción directa sobre el módulo de control primario 62, tal como se representa en la figura 5. En este caso, se varía el modelo de trayecto 621 en función de la carga a través de una línea de vinculación 602. Por ejemplo, para un miembro 621 de elevación al cuadrado del modelo de trayecto están contenidos unos exponentes reducidos (en el intervalo entre 1 y 2) en un miembro de curva característica 601 del módulo de corrección 60 bajo carga parcial. A plena carga, se cuenta entonces regularmente con un exponente de 2, mientras que a carga parcial se cuenta, por ejemplo, con exponentes de 1,9 o incluso 1,8. Se puede efectuar así una disminución armónica y deliberada del valor teórico de la potencia reactiva con respecto al valor fundamental puro, lo que produce una mejora de la estabilidad, especialmente con respecto al comportamiento dinámico. La disminución bajo carga parcial está representada en el diagrama de la figura 8b a lo largo de todo el intervalo de potencia para diferentes tensiones.

En una forma de realización especialmente preferida, que eventualmente merece una protección independiente, el módulo de control primario y el observador están contruidos como una unidad integrada 64. Con la unidad integrada 64 se hace posible un cálculo más directo y, por tanto, más eficiente de la potencia reactiva teórica Q. Se toman como base en este caso para un sistema trifásico las relaciones

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} \quad (9)$$

$$Q = C * 3 * X_T * I^2$$

a partir de las cuales se obtiene por sustitución mutua la ecuación cuadrática

$$Q^2 - \frac{U^2}{C * X_T} * Q - P^2 = 0 \quad (10)$$

Ésta presenta dos soluciones, una solución estable

$$Q_1 = P - \text{sign}(C) * \sqrt{P^2 - P^2} \quad (11)$$

y una solución inestable

$$Q_2 = P_{estab} + \text{signo}(C) * \sqrt{P_{estab}^2 - P^2} \quad (12)$$

con

$$P_{estab} = \frac{U^2}{2 * C * X_T} \quad (13)$$

como valor límite de estabilidad para la potencia activa. La versión integrada hace posible calcular directamente el valor límite de estabilidad y seguidamente un valor estable para la potencia reactiva teórica. En la figura 6 está representada esta versión integrada. Como señal de entrada se aplican el número de revoluciones N y el par teórico M. El observador presenta también un modelo de trayecto 643 al que está conectado un valor de tensión, es decir, un valor de tensión teórico o un valor captado por un sensor de tensión para la tensión real a través de un interruptor selector 641. El modelo de trayecto 643 tiene en cuenta la reactancia X_t del transformador de media tensión y el factor de ampliación C. Se calcula a partir de esto el límite de estabilidad P_{estab} . A partir de las señales de entrada para el número de revoluciones N y el par teórico M se forma por medio de un miembro de multiplicación 645 un valor para la potencia real P, y se vincula éste con el valor para el límite de estabilidad P_{estab} y el signo del factor C por medio de los elementos 646 a 652 según la relación anterior (13), y así se determina la solución estable para la potencia reactiva teórica según la relación (11). Asimismo, está previsto un limitador 66 que restringe los valores para la potencia reactiva teórica a un intervalo entre un límite inferior seleccionable Q_{min-l} y un valor superior seleccionable Q_{max-l} . Esta señal limitada es emitida y puede ser aplicada al convertidor de frecuencia. Gracias al cálculo directo no es necesario calcular magnitudes intermedias por separado. Se puede prescindir entonces de un sensor de corriente autónomo 51, ya que la información equivalente para la medida del flujo de corriente - como se ha explicado anteriormente - puede obtenerse del observador integrado. El cálculo directo es rápido, ya que no es necesario realizar iteraciones. Asimismo, este cálculo garantiza la estabilidad de la potencia reactiva teórica calculada.

Para mejorar aún más la exactitud puede estar previsto un módulo de corrección 67. Éste sirve para variar la potencia reactiva teórica obtenida de una de las maneras antes citadas de modo que se compensen divergencias de tensión. En una entrada del módulo de corrección 67 está aplicada una señal para la tensión real que es registrada por un sensor de tensión 52 en la línea de unión 7. El módulo de corrección 67 comprende un modelo de trayecto 673 que está concebido para obtener valores de corrección para la corriente en función de la tensión real. El miembro de modelo de trayecto 673 forma las reactancias X_{mag} y X_C producidas por la inductividad principal del transformador de media tensión y la armadura capacitiva de la línea de unión, y emite un valor de corrección para la potencia reactiva. Un limitador pospuesto 68 limita el valor de corrección a un intervalo entre un límite inferior ajustable Q_{min-U} y un límite superior ajustable Q_{max-U} . El valor de corrección así limitado se suma por un miembro de suma 69 a la potencia reactiva teórica determinada por la unidad integrada 64. El diagrama de la figura 8c muestra el factor de potencia COSPHI en función de la potencia activa P (en el intervalo de 0 a 4000 kW) a tensión reducida. Se aprecian claramente la reducción del factor de potencia y, por tanto, el aumento de la potencia reactiva en comparación con la curva característica de subtensión correspondiente en la figura 8a.

Por último, puede estar previsto un selector de modo opcional 65. Se aplican a sus entradas la potencia reactiva teórica determinada por el módulo de control primario, el valor de corrección determinado por el dispositivo de corrección 67 y la potencia reactiva teórica formada por el miembro de suma 69. El selector de modo 65 se activa a través de una entrada de control de modo que en la salida 61 se emita discrecionalmente una de las señales aplicadas hacia el convertidor de frecuencia 4. Se inaugura así adicionalmente la posibilidad de conmutar a un régimen de control diferente, por ejemplo a un valor de consigna de potencia reactiva guiado por la tensión.

El módulo de corrección 67 bajo tensión, el limitador 66 y/o el interruptor de modo 65 pueden estar previstos discrecionalmente también en las demás formas de realización (figuras 4 y 5). Asimismo, puede estar previsto un módulo de corrección 60 bajo carga parcial en las demás formas de realización (figuras 4 y 6).

En el caso de varias instalaciones de energía eólica 1, 1' agrupadas formando un parque eólico, la determinación de la potencia reactiva teórica guiada por la corriente según la invención puede realizarse centralmente por el gestor 8 del parque en vez de realizarse de manera descentralizada en las distintas instalaciones de energía eólica 1, 1'. A este fin, el gestor 8 del parque está provisto de un dispositivo de control de potencia 85 que determina centralmente la potencia reactiva teórica para las instalaciones de energía eólica 1, 1' del parque eólico. En el gestor 8 del parque están conectados unos sensores 83, 84 para la corriente y la tensión con la cual se alimenta a la red 9, a través de la red de líneas de unión 7 internas al parque y a través del transformador 73 de alta tensión, la potencia eléctrica generada por las instalaciones de energía eólica 1, 1'. La constitución y el funcionamiento del dispositivo de control de potencia 85 corresponden a las explicaciones anteriores con respecto a la única instalación de energía eólica. El parque eólico dispone también de una red de comunicación 87, a través de la cual se intercambian señales del gestor 8 del parque con las instalaciones de energía eólica 1, 1'. La red de comunicación puede estar construida como una red cableada propia o bien, según se representa en la figura 7, como una red de radio. El gestor 8 del parque y las instalaciones de energía eólica 1, 1' disponen de sendos módulos de radio 88 que están unidos con el respectivo dispositivo de control 5, 85. Las instalaciones de energía eólica 1, 1' reciben del gestor 8 del parque, a través de la red de comunicación, su respectivo valor teórico para la potencia reactiva, el cual es ajustado entonces de manera correspondiente por el dispositivo de control local 5 de las distintas instalaciones de energía eólica con

ayuda del convertidor de frecuencia 4.

REIVINDICACIONES

1. Instalación de energía eólica con un rotor (12), un generador (3) accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia (4) para alimentar potencia eléctrica a una red (9) a través de una línea de unión (7) y un dispositivo de control (5), comprendiendo el dispositivo de control (5) un controlador (6) del convertidor de frecuencia que está concebido para controlar una porción de potencia reactiva de la potencia según un valor de consigna, **caracterizada** por que está previsto un módulo de control primario (62, 64) para emitir una señal para una potencia reactiva teórica (Q), el cual está concebido para determinar en forma guiada por la corriente la potencia reactiva teórica en función de una medida del flujo de corriente, entendiéndose por en forma guiada por la corriente que la determinación de la potencia reactiva teórica se basa tan sólo o al menos principalmente en la corriente.
2. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada** por que el módulo de control primario (62, 64) presenta un modelo de trayecto (621, 622) para determinar un valor estimativo para la potencia reactiva a partir de la medida del flujo de corriente.
3. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que está previsto un dispositivo de medida (51) para medir la corriente circulante por la línea de unión (7), preferiblemente la corriente aparente.
4. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que está previsto un observador (63) para determinar la medida del flujo de corriente, el cual determina una medida sustitutiva para la medida del flujo de corriente a partir de un parámetro diferente, preferiblemente al menos dos parámetros diferentes.
5. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el controlador (6) del convertidor de frecuencia comprende también un módulo de corrección (67) que determina un valor de corrección para la potencia reactiva teórica en función de la tensión.
6. Instalación de energía eólica según la reivindicación 5, **caracterizada** por que está previsto un selector de modo (65) que emite discrecionalmente como señal de salida la potencia reactiva teórica con o sin el valor de corrección o bien emite solamente el valor de corrección.
7. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que un módulo de limitación (66) está conectado a continuación del módulo de control primario.
8. Parque eólico con una pluralidad de instalaciones de energía eólica (1, 1') que generan energía eléctrica para entregarla a una red (9), y con un gestor de parque (8) para controlar la instalación de energía eólica (1, 1'), presentando la instalación de energía eólica (1, 1') un rotor (12) y un generador (3) accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia (4) para alimentar potencia eléctrica a una línea de unión (7) interna al parque, y presentando el gestor (8) del parque un dispositivo de control de potencia reactiva (85), **caracterizado** por que el dispositivo de control de potencia reactiva (85) presenta un módulo de control primario (62, 64) para emitir una señal para una potencia reactiva teórica (Q), el cual está concebido para determinar en forma guiada por la corriente la potencia reactiva teórica de las instalaciones de energía eólica (1, 1') en función de una medida del flujo de corriente, entendiéndose por en forma guiada por la corriente que la determinación de la potencia reactiva teórica se basa tan sólo o al menos principalmente en la corriente.
9. Parque eólico según la reivindicación 8, **caracterizado** por que el dispositivo de control de potencia reactiva (85) está construido según las reivindicaciones 2 a 7.
10. Procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica (1, 1') con un rotor (12), un generador (3) accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia (4) para alimentar potencia eléctrica a una red (9) a través de una línea de unión (7) y un dispositivo de control (5), comprendiendo el dispositivo de control (5) un controlador (6) del convertidor de frecuencia que controla una porción de potencia reactiva de la potencia según un valor de consigna, **caracterizado** por obtener una medida del flujo de corriente y determinar en forma guiada por la corriente una potencia reactiva teórica en función de la medida del flujo de corriente, entendiéndose por en forma guiada por la corriente que la determinación de la potencia reactiva teórica basa tan sólo o al menos principalmente en la corriente.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado** por emplear un modelo de trayecto (621, 622) para calcular un valor fundamental para la potencia reactiva teórica a partir de la medida del flujo de corriente.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 y 11, **caracterizado** por determinar por medio de un observador (63) una medida sustitutiva para la medida del flujo de corriente a partir de un parámetro diferente, preferiblemente al menos dos parámetros diferentes.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado** por determinar un valor de

corrección para la potencia reactiva teórica en función de la tensión.

- 5 14. Procedimiento de funcionamiento de un parque eólico con una pluralidad de instalaciones de energía eólica (1, 1') que generan energía eléctrica para entregarla a una red (9), con un rotor (12) y un generador (3) accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia (4) para alimentar potencia eléctrica a una línea de unión (7) interna al parque, presentando el gestor de parque (8) un dispositivo de control de potencia (85) que controla una porción de potencia reactiva de la potencia según un valor de consigna, **caracterizado** por obtener una medida del flujo de corriente y determinar en forma guiada por la corriente una potencia reactiva teórica en función de la medida del flujo de corriente para las instalaciones de energía eólica (1, 1'), entendiéndose por en forma guiada por la corriente que la determinación de la potencia reactiva teórica se basa tan sólo o al menos principalmente en la corriente.
- 10 15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado** por determinar la potencia reactiva teórica según las reivindicaciones 11 a 13.

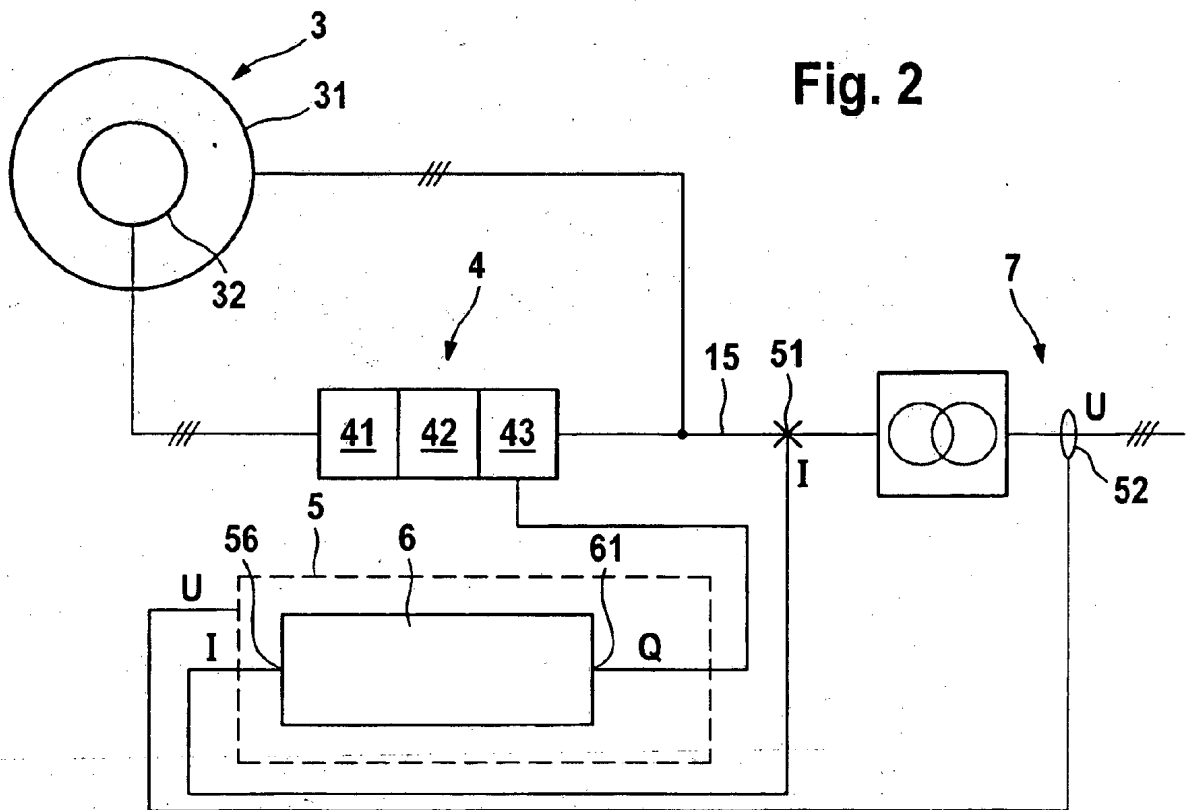
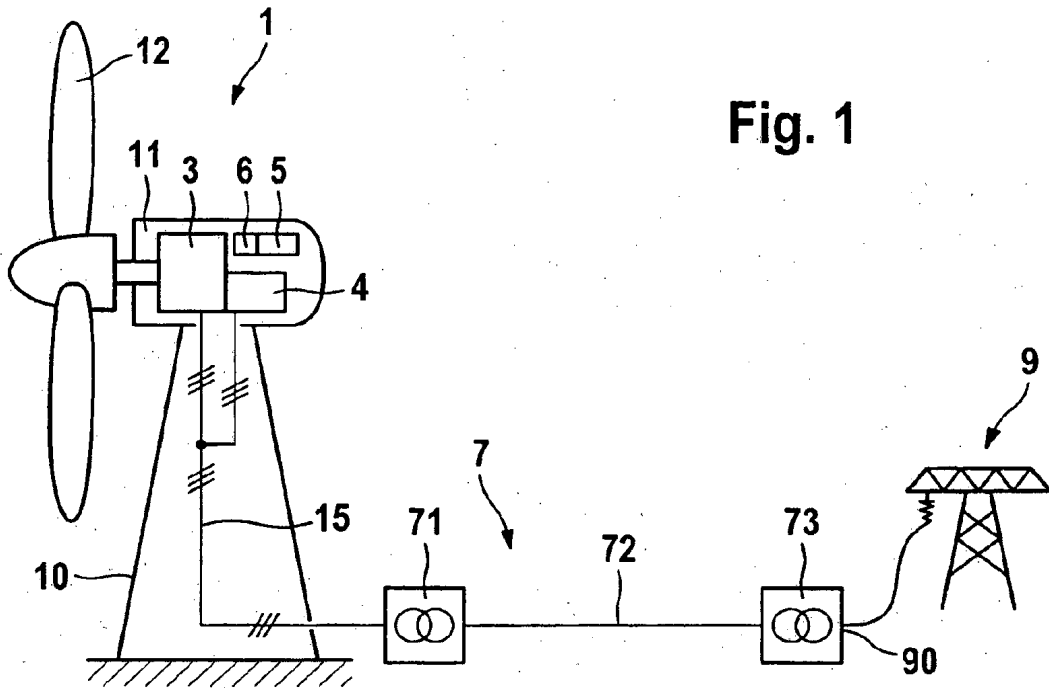


Fig. 3



Fig. 4

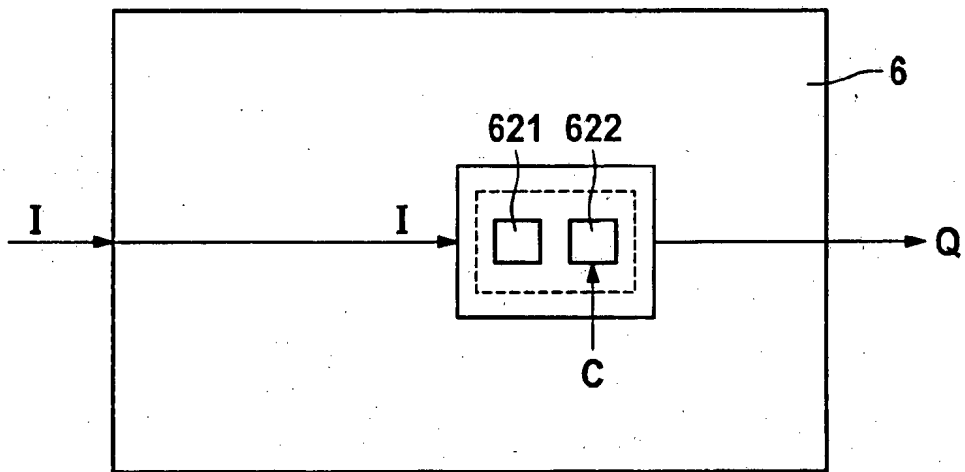


Fig. 5

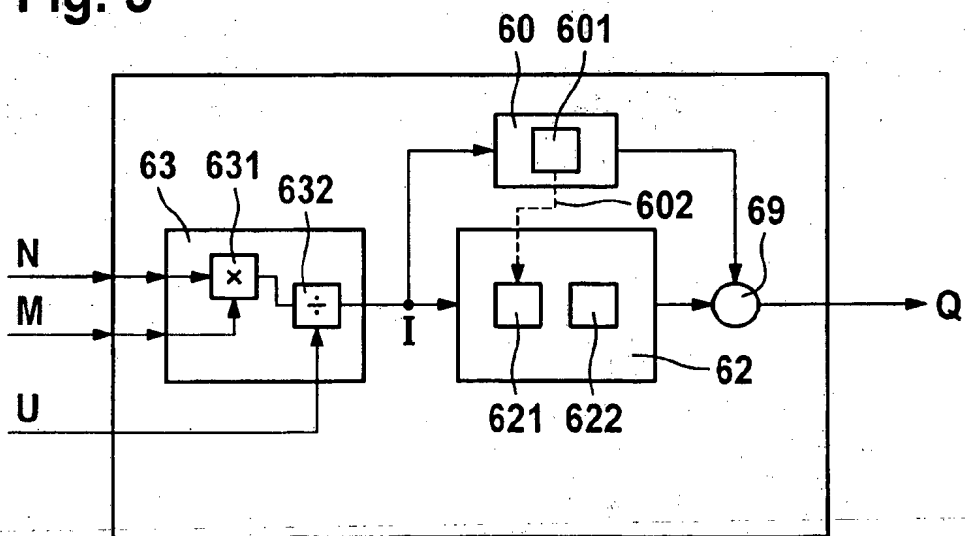


Fig. 6

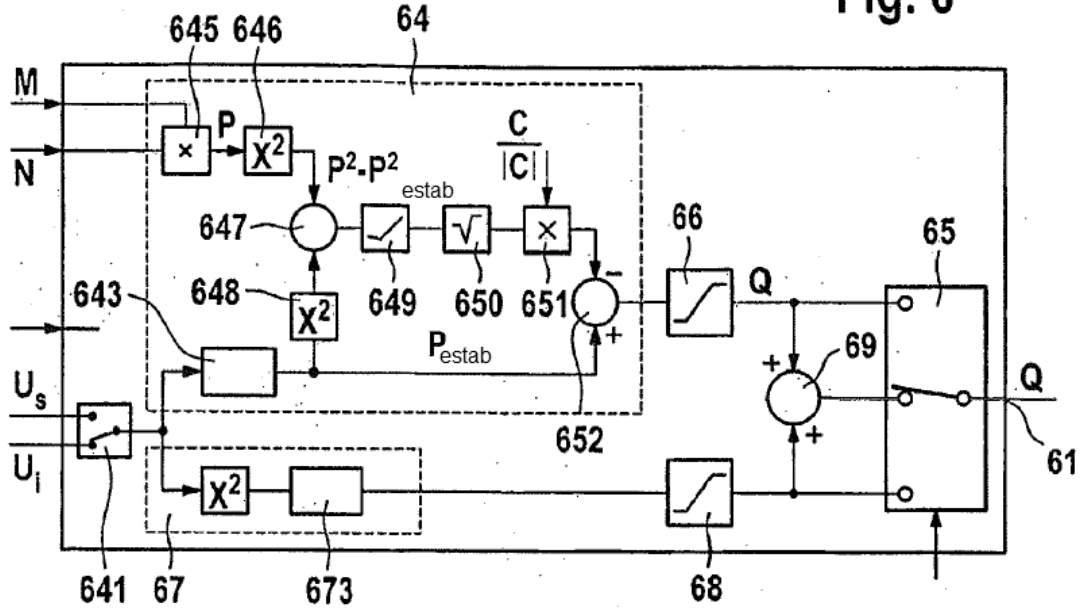


Fig. 7

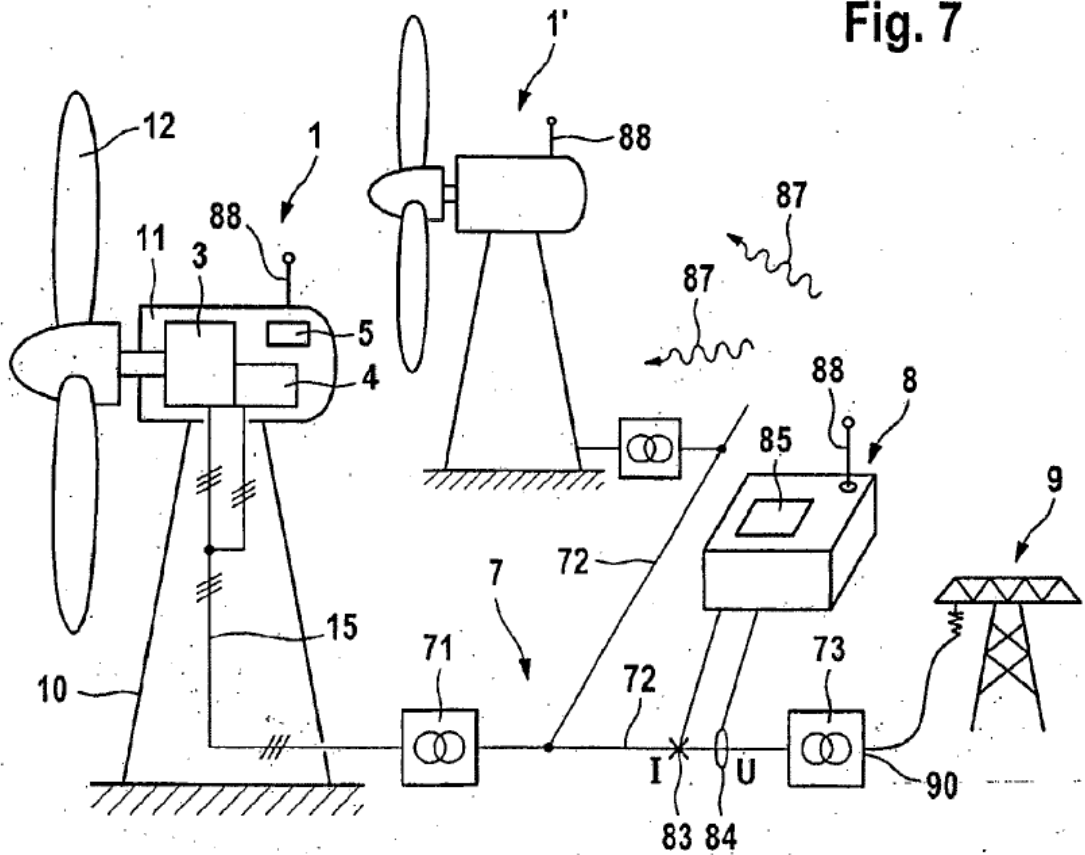


Fig. 8

