

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 255**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.10.2008 PCT/EP2008/008545**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2009 WO09049822**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2008 E 08802851 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 2198497**

54 Título: **Aerogeneradores con regulación para fallos de red y procedimiento de funcionamiento de los mismos**

30 Prioridad:

12.10.2007 DE 102007049251

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

16.03.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

FORTMANN, JENS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 812 255 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

Aerogeneradores con regulación para fallos de red y procedimiento de funcionamiento de los mismos

La invención se refiere a un aerogenerador con un generador accionado por un rotor eólico y un convertidor de frecuencia para generar energía eléctrica que se alimenta a una red, y con un equipo de control.

5 Por tanto, en redes de transmisión o distribución de energía eléctrica, hay que contar siempre con que, debido a cortocircuitos, puede producirse una formación de redes en isla. En una red en isla, la tensión, la frecuencia y la fase ya no se desarrollan en sincronismo con los parámetros correspondientes de la red principal. Esto, especialmente en reconexiones después de que se haya depurado el fallo de la red, puede conducir a que circulen altas corrientes de compensación, con lo que puede producirse una sobrecarga o daños en los componentes. Además, en las centrales
10 eléctricas convencionales con generadores síncronos existe el peligro de que las desviaciones en la red en isla sean tan grandes que el generador bascule al conectarlo a la red residual.

Los aerogeneradores a menudo están previstos en lugares con una elevada oferta de viento y una baja densidad de población. En muchos casos, esto condiciona una conexión de los aerogeneradores a través de ramificaciones relativamente largas y solo escasamente enmalladas de una red de transmisión de energía. Debido a esta
15 disposición, los aerogeneradores se ven afectados con relativa facilidad por la formación en isla de la red en caso de avería. Esto se aplica tanto a aerogeneradores independientes como también a varios aerogeneradores agrupados para formar un parque eólico.

Si los aerogeneradores están dispuestos en la red en isla, se produce en ellos fácilmente un aumento relativamente rápido de la frecuencia de la red. Un factor importante para ello es que los aerogeneradores - a diferencia de los
20 generadores síncronos utilizados en las centrales eléctricas convencionales - solo tienen una pequeña inercia de masa. Debido a la mayor desviación, al volver a conectar, pueden producirse procesos compensatorios en mayor medida, con lo que existe el peligro de daños.

Las publicaciones de FAINAN MAGUEED ET AL: "Operation of Distributed Generation in Weak Grids with Local Critical Load", IEEE 32ND ANNUAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, IECON 2006 del 1
25 noviembre de 2006, páginas 2414-2419, y de IWANSKI G ET AL: "Synchronization and Mains Outage Detection for Controlled Grid Connection of the Wind Driven Variable Speed Power Generation System", INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLEAN ELECTRICAL POWER, 2007. ICCEP '07, de 1 de mayo de 2007, páginas 585-590 presentan soluciones convencionales para el funcionamiento de aerogeneradores en caso de cortocircuitos o formación en isla.

30 La invención se basa en el problema de mejorar aerogeneradores del tipo citado al principio en el sentido de que, en caso de cortocircuitos y formación en isla en la red, muestren un comportamiento más favorable.

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

35 Según la invención, en un aerogenerador con un generador accionado por un rotor eólico y un convertidor de frecuencia para generar energía eléctrica, que se alimenta a una red, y con un equipo de control está previsto que el equipo de control presente un módulo de perturbación de la red, que tiene un equipo de medición para al menos un parámetro eléctrico de la red, un detector para reconocer un fallo de red y emitir una señal de conexión, un generador de referencia, que genera para el convertidor de frecuencia un vector de guía sustitutivo basándose en el parámetro determinado por el equipo de medición y comprende una unidad de gestión de fallos, que presenta un
40 clasificador de fallos y coopera con los otros componentes, de tal manera que en caso de tensión insuficiente durante el funcionamiento en isla se activa un regulador rápido de frecuencia que actúa sobre el convertidor de frecuencia para modificar la alimentación de potencia activa en caso de desviaciones de la frecuencia de la red.

La forma de funcionamiento de la invención es como sigue: por medio del equipo de medición se miden parámetros eléctricos de la red y se determinan a partir de ellos posiciones de frecuencia y/o fase. El equipo de medición está
45 configurado preferentemente de manera que proporcione además la frecuencia de la red o la posición de fase en caso de un fallo de red. Por medio del detector, con ayuda de esta señal y otras señales si se desea, como la tensión o la corriente o una señal preestablecida desde fuera, puede determinarse si se ha formado una red en isla. Si el detector reconoce con ayuda de las señales una formación de red en isla, entonces emite la señal de conexión correspondiente. El generador de referencia está configurado para generar un valor de referencia que está aplicado como vector de guía al convertidor de frecuencia. El valor de referencia se genera durante el transcurso de la perturbación de la red detectada por el detector. Puede ser, por ejemplo, en este caso, una magnitud de fase, un índice giratorio o un índice fijo. Con el vector de guía, el convertidor de frecuencia también se puede hacer funcionar en caso de una avería de red como un convertidor de frecuencia gestionado en red. Por tanto, incluso en el caso de una fuerte irrupción de tensión con una tensión remanente muy baja (cortocircuito), por ejemplo, por debajo de un
50 umbral del 5-15% de la tensión nominal, puede realizarse todavía una alimentación adicional de corriente a la red, mientras que los aerogeneradores convencionales, a falta de una detección más segura de la posición de fase en presencia de una tensión tan baja, ajustarían la alimentación adicional. Por tanto, gracias a la invención, la red
55

puede apoyarse con una alimentación adicional, especialmente en el caso de una fuerte irrupción de tensión con baja tensión remanente.

5 El clasificador de fallos está configurado para diferenciar distintas clases de perturbaciones de red. Si el clasificador de fallos detecta conjuntamente con el detector una formación de red en isla, entonces, por medio del clasificador de fallos, se activa la unidad de regulación de frecuencia. Esta está configurada con una constante de tiempo rápida (menos de 100 ms) para regular a un valor deseado la frecuencia de la potencia emitida por el convertidor de frecuencia. La unidad de regulación de frecuencia realiza esto cambiando la alimentación de potencia activa por medio del convertidor de frecuencia, concretamente de tal manera que tanto la frecuencia como, preferentemente también, la posición de fase de la tensión, se regulan a un valor nominal.

10 Seguidamente, se explican algunos términos utilizados:

Por una red en isla se entiende un fallo de red en el que una parte de la red, a la que está conectado el correspondiente aerogenerador, ya no está conectada con la totalidad de la red de manera que reinen las mismas relaciones de tensión y frecuencia.

15 Por vector de guía, se entiende una señal de control para el convertidor de frecuencia que contiene uno o varios elementos que determinan un comportamiento de conexión del convertidor de frecuencia y, por tanto, determinan la potencia activa/reactiva emitida por el convertidor de frecuencia.

20 Por una regulación rápida se entiende una regulación que presenta una constante de tiempo que, en al menos un orden de magnitud, es menor que una regulación de frecuencia convencional. Preferentemente, se trata de constantes de tiempo de 100 ms o menos. Esto se puede lograr archivando, por ejemplo, curvas nominales, funciones o tablas en la unidad de regulación de frecuencia que, por ejemplo, reducen la alimentación de potencia activa a medida que aumenta la frecuencia.

25 El núcleo de la invención se basa en la idea de combinar tres aspectos diferentes. El primer aspecto radica en detectar un fallo de red y, por tanto, la posible formación de una red en isla. El segundo aspecto radica en proporcionar al aerogenerador un valor de referencia propio con respecto a la frecuencia o fase de la red, de modo que ya no dependa de una conducción a través de la red – ya no disponible en absoluto a consecuencia del fallo de la red. El tercer aspecto radica en que, en la formación de red en isla, se proporciona una regulación rápida de frecuencia que regula el aerogenerador con su convertidor de frecuencia, de tal modo que la potencia eléctrica entregada presente una frecuencia y en lo posible también una posición de fase que coincidan con las correspondientes al valor de referencia. Esto significa que el regulador de frecuencia cambia la alimentación de potencia activa de tal manera que la diferencia de regulación alcance en lo posible el valor cero. Por tanto, incluso en el caso de la formación temporal de una red en isla, se consigue que el convertidor de frecuencia mantenga tal frecuencia de red (y eventualmente la posición de fase) que sea síncrona con la red remanente. Las corrientes de compensación, como las que se originan después de depurar el fallo, no se producen, o se producen en pequeña medida, gracias a la invención. Esta es una ventaja considerable con respecto a los aerogeneradores convencionales, que frecuentemente no reconocen en absoluto una formación de red en isla y en los que el convertidor de frecuencia no puede mantener la frecuencia de la red residual a falta de guiado a través de la red y debido a la falta de inercia. Entonces se producen desviaciones de frecuencia y considerables corrientes de compensación después de que se haya depurado el error. Gracias a la invención, los aerogeneradores con convertidores de frecuencia obtienen así una estabilidad frente a fallos de la red, como irrupciones de tensión o cortocircuitos con formación de red en isla, que es comparable con la de las grandes centrales eléctricas convencionales con generadores síncronos que, debido a su inercia de masa, presentan una considerable estabilidad natural de frecuencia. Por tanto, los aerogeneradores pueden seguir funcionando casi de manera síncrona con la red residual en caso de cortocircuitos y la formación temporal resultante de una red en isla, como ocurre en particular cuando los aerogeneradores están conectados a ramificaciones de red largas y no enmalladas.

35 Preferentemente, la unidad de gestión de errores comprende además un regulador de tensión que está configurado para regular la tensión de la potencia eléctrica entregada por el convertidor de frecuencia modificando la alimentación de potencia reactiva. Por tanto, la tensión puede regularse a un valor nominal. En este caso, el valor nominal es convenientemente un elemento del vector de guía que es determinado por el generador de referencia, y corresponde aproximadamente a la tensión en la red antes de que aparezca el fallo de red. Si no puede lograrse una regulación a tal valor, entonces está previsto de manera conveniente un modo de funcionamiento auxiliar para el regulador de tensión, en el que la tensión se regula a un valor máximo que no conduce aún a una sobrecarga del convertidor de frecuencia.

La unidad de gestión de errores está configurada además convenientemente para que, en un caso de cortocircuito, el convertidor de frecuencia pueda guiarse con el vector de guía como sustituto.

55 Una unidad de seguimiento de red puede cooperar con la unidad de gestión de fallos. Está configurada para limitar un ángulo diferencia entre el ángulo de fase en la red y el ángulo de fase de la potencia alimentada por el convertidor del aerogenerador. Para ello presenta convenientemente un detector de desviación angular, con el que se forma una diferencia a partir de señales para la frecuencia en la red y en el convertidor de frecuencia, y se

determina así una desviación angular, y un limitador que limita la desviación angular a un ángulo diferencia predeterminable. Si, en caso de una perturbación de la red, se forma una red en isla que contiene todavía otros generadores aparte del aerogenerador, la frecuencia y la fase en la red no las determina únicamente el aerogenerador, de modo que pueden surgir diferencias. En este caso, se ajusta un ángulo diferencia que, entre otras cosas, se determina por la alimentación de potencia del aerogenerador a la red en isla y la clase y el número de consumidores. Al ajustar el ángulo con el que el convertidor de frecuencia del aerogenerador alimenta a la red, se puede cambiar el ángulo de la tensión de la red. Sin embargo, en este caso, las variaciones del ángulo de la red no deben ser demasiado grandes para evitar una sobrecarga del aerogenerador con respecto a la potencia alimentada y evitar oscilaciones de regulación debido a variaciones demasiado rápidas.

La unidad de gestión de fallos está configurada ventajosamente para detectar un final del fallo de red y emitir una segunda señal de conexión a la unidad de gestión de fallos. Para ello, se vigila la evolución de la tensión de la red y/o la variación de la posición de fase. En caso de un nuevo aumento rápido o una variación brusca, se puede terminar la regulación rápida de frecuencia y la potencia activa se puede regular nuevamente como antes de que ocurriera el fallo. En este caso, para lograr una transición lo más uniforme posible, la unidad de gestión de errores presenta preferiblemente un módulo de tránsito que, al terminar la regulación rápida de frecuencia, devuelve la potencia activa a un valor consigna mediante una función de transición, por ejemplo una función de rampa. El valor consigna puede ser un valor requerido actualmente, como el valor presente en la red, o el valor original antes de que ocurriera el fallo de red.

La unidad de gestión de fallos presenta ventajosamente un canal de entrada a través del cual se pueden determinar al menos la frecuencia y/o la posición de fase en funcionamiento en isla. Por tanto, si se desea, se puede lograr un control externo del aerogenerador. Esto es particularmente una gran ventaja cuando se deba controlar no solo un aerogenerador, sino un parque eólico con varios aerogeneradores o cuando los aerogeneradores deban sincronizarse entre sí. De manera correspondiente, la unidad de gestión de fallos presenta además un canal de salida a través del cual se emite el vector de guía durante el funcionamiento en isla. Por tanto, los puestos de mando externos u otros aerogeneradores pueden ser informarse sobre la frecuencia, la posición de fase o la tensión para posibilitar así en ellos una sincronización.

La unidad de gestión de fallos presenta preferiblemente un módulo de tiempo. Sirve para controlar el comportamiento del aerogenerador después de que se haya producido un fallo de la red, concretamente de manera conveniente en función de otras condiciones. Puede estar previsto así que después de transcurrido un período de tiempo predefinible o no alcanzada una curva característica de limitación de tensión y/o frecuencia dependiente del tiempo, el aerogenerador se apague o se separe de la red. Para ello, el módulo de tiempo coopera convenientemente con el clasificador de fallos. Así, puede estar configurado para que, al persistir una baja tensión próxima a cero, el aerogenerador se separe de la red únicamente después de un primer período de tiempo ajustable relativamente corto, y continúe siendo alimentado hasta entonces. Este caso tiene particular importancia cuando hay un cortocircuito muy cerca del aerogenerador, en el que no se presupone de ello que se produzca una depuración temprana del cortocircuito. Gracias a una separación rápida puede asegurarse que no se produzca una alimentación inadmisiblemente larga en un cortocircuito cerca del aerogenerador. Por el contrario, se aplica que cuando la tensión aumenta en una cierta cantidad, esto es un indicio de que el fallo está a una distancia mayor con respecto al aerogenerador. Puede partirse entonces del supuesto de que sea posible una depuración del fallo, de modo que puede preverse un periodo temporal más largo hasta la desconexión del aerogenerador. Después de un segundo periodo temporal predeterminable, se comprueba si existe una tensión insuficiente persistente (de, por ejemplo, menos del 50% de la tensión nominal). Se parte entonces de un fallo de red no depurado grave y se apaga el aerogenerador. Asimismo, en el caso de un funcionamiento en isla detectado, el aerogenerador se puede apagar una vez transcurrido un determinado tercer período de tiempo; sin embargo, no se debe descartar que el funcionamiento continúe y solo se apague en respuesta a una señal externa. Por tanto, el aerogenerador solo se apaga más tarde o no se apaga en absoluto. Esto aumentará así la seguridad operativa de toda la red, dado que más aerogeneradores se alimentan en caso de fallos de la red.

El módulo de perturbación de red puede presentar ventajosamente un módulo de sincronización cuando el aerogenerador está adyacente a otros aerogeneradores, como en un parque eólico. El módulo de sincronización está conectado con la unidad de gestión de errores y con el regulador de frecuencia y coopera con estos de tal manera que se coteje el vector de guía con un punto externo. Con una comparación, se pueden detectar y compensar desviaciones no deseadas entre los aerogeneradores, como las que surgen debido a diferencias inevitables entre el registro y el procesamiento de señales debido a una precisión no ideal. Para ello, la frecuencia y la posición de fase y, eventualmente, también la tensión, se detectan convenientemente y se almacenan como vector con una marca de tiempo. Pueden determinarse así las diferencias angulares entre los aerogeneradores. Para ello, el módulo de sincronización presenta preferiblemente una referencia temporal. Sin embargo, no se debe descartar que recurra a un módulo de tiempo de la unidad de gestión de errores. Para el contacto con los otros aerogeneradores, un gestor del parque, cuando el aerogenerador está instalado en un parque eólico o en un lugar externo, por ejemplo, la sala de control del operador de la red, el módulo de sincronización presenta ventajosamente una unidad de comunicación. No obstante, para evitar costes puede cooperar también con la unidad de gestión de fallos, de modo que su canal de entrada y de salida se utilice con fines de sincronización.

El generador puede ser de cualquier tipo en sí, por ejemplo un generador síncrono, un generador asíncrono o preferiblemente un generador asíncrono de doble alimentación. Este último ofrece la ventaja de que la regulación rápida de frecuencia podría incluso actuar sobre ambos inversores del convertidor de frecuencia si fuera necesario, para lograr una variación rápida de frecuencia por la absorción o alimentación correspondientemente de la potencia activa.

Además, puede preverse convenientemente un chopper (un circuito para anular energía en el circuito intermedio del convertidor), actuando la regulación rápida de frecuencia sobre el chopper. Al activar el chopper, se anula la energía, es decir, se reduce la potencia activa, con lo que puede actuarse de manera rápida y eficiente sobre la frecuencia. Adicional o alternativamente, puede preverse también una resistencia controlable como consumidor que también se pueda usar para reducir la potencia activa.

La invención se refiere además a un procedimiento para hacer funcionar un aerogenerador con un generador accionado por un rotor eólico y un convertidor de frecuencia para generar energía eléctrica, que se alimenta a una red, con las siguientes etapas: medir al menos un parámetro eléctrico de la red, detectar y emitir una señal de conexión, generar un valor de referencia como vector de guía para el convertidor sobre la base del parámetro medido, clasificar un fallo al detectar la señal de conexión, guiándose, en el caso de un fallo de cortocircuito, el convertidor con el vector de guía en lugar de la red para alimentar potencia eléctrica, y realizándose una regulación rápida de frecuencia en un caso de fallo de tensión insuficiente durante el funcionamiento en isla, regulándose la frecuencia de red por la variación de la alimentación de potencia activa.

Para explicar con más detalle el procedimiento y los perfeccionamientos ventajosos, se hace referencia a realizaciones arriba mencionadas.

La invención se extiende además a un parque eólico con varios aerogeneradores, con un gestor de parque, estando dispuesto el módulo de perturbación de red en el gestor de parque, y a un procedimiento para hacer funcionar este parque eólico. Para aerogeneradores individuales del parque, se determinan valores para la potencia activa y, eventualmente, reactiva, se transmiten a los aerogeneradores y, de esta manera, se logra la regulación de frecuencia o la regulación de tensión deseada, como se ha descrito con detalle anteriormente. Para sincronizar los aerogeneradores, estos se comunican convenientemente con el gestor de parque. No obstante, pueden comunicarse también entre ellos, lo que aumenta la seguridad del funcionamiento frente a un fallo del gestor de parque. Sin embargo, puede preverse también que se comuniquen con un puesto externo al parque, como la sala de control del operador de red, y que se sincronicen con valores de esta. Esto ofrece la ventaja de que el parque eólico también puede hacerse funcionar en sincronismo con la red incluso en el caso de una red en isla de más larga persistencia.

La invención se explica a continuación con referencia al dibujo adjunto, en el que está representado un ejemplo de realización a modo de ejemplo de la invención. Muestran:

La figura 1, una vista esquemática de un aerogenerador según un ejemplo de realización de la invención;

La figura 2, una representación esquematizada de la conexión de un aerogenerador a una red;

La figura 3, una representación esquemática de un módulo de perturbación de red según la invención;

La figura 4, diagramas de ángulos de fase en la red durante un fallo de red; y

La figura 5, un ampliación opcional del módulo de perturbación de red según la figura 3.

Un aerogenerador según un primer ejemplo de realización de la invención comprende una torre 10 con una sala de máquinas 11 dispuesta de manera pivotable en su extremo superior. En su lado frontal, está dispuesto de manera giratoria un rotor eólico 12 que acciona un generador 2 del aerogenerador a través de un árbol de rotor (no representado). Un convertidor de frecuencia 3 está conectado con el generador 2. Además, en la sala de máquinas 11 está dispuesto un equipo de control 4, que está conectado por medio de líneas de señal (no representadas) con el generador 2 y el convertidor de frecuencia 3 así como con fuentes de señal externas (no representadas).

El rotor 12 accionado por el viento suministra energía mecánica a través del árbol de rotor al generador 2, que genera correspondientemente energía eléctrica. El generador 2 es preferentemente una máquina asíncrona de doble alimentación con un devanado de estator y un devanado de rotor.

Una línea de conexión 16 está conectada con el devanado de estator y está unida, a través de un transformador de media tensión 17 en la base de la torre 10 y un contactor de conexión 18, con una red de distribución de energía 9. El convertidor de frecuencia 3 con su inversor del lado de máquina 31 está conectado con el devanado de rotor del generador 2 y está conectado con un inversor del lado de red 33 del convertidor de frecuencia 3 a través de un circuito intermedio 32. Este está conectado con la línea de conexión 16. Además con el circuito intermedio 32 está conectado un chopper 34 que ante una señal de conexión extrae energía eléctrica del circuito intermedio 32 y la transforma en calor.

El equipo de control 4 está configurado para controlar el convertidor de frecuencia 3 en función de diferentes consignas, en particular para controlar la potencia activa y reactiva generada por el convertidor de frecuencia 3. El equipo de control 4 puede ser alimentado con magnitudes de control y/o guía por un controlador de funcionamiento superior (no representado) y/o un gestor de parque 7, con el que está conectado a través de conexiones de comunicación (no representadas). Además puede preverse conectar señales de control externas, por ejemplo por medio de transmisión remota de datos (no representada).

La conexión de un aerogenerador 1 (o de un parque eólico; para fines de simplificación se hace referencia únicamente al aerogenerador) con la red de distribución de energía 9, como está representado en la figura 1 de forma esquemática solo de manera aproximada, está representada en detalle en la figura 2. El aerogenerador 1 está conectado con una primera barra colectora 81 por medio de su transformador de media tensión y el contactor de conexión 18. La barra colectora puede ser, por ejemplo, una red de conexión interna de un parque eólico, con la que están conectados aerogeneradores adicionales 1'. La primera barra colectora 81 está conectada con una segunda barra colectora 82 por medio de varias, en el ejemplo representado dos, líneas de conexión 83, 84. Las líneas de conexión 83, 84 pueden ser cortas, pero presentan en la mayoría de los casos una longitud considerable tal que su resistencia activa y reactiva (representada por componentes sustitutivos en la figura 2) no es despreciable. Ambas líneas de conexión 83 y 84 presentan en sus dos extremos en las barras colectoras 81, 82 un respectivo elemento de conexión 85, 86, 87, 88. La segunda barra colectora 82 está conectada con la red de distribución de energía 9, concretamente de forma eventual, por medio de un transformador de alta tensión (no representado).

Además, en la figura 2 están representadas a modo de ejemplo por los símbolos de rayos F1 y F2 dos ubicaciones para posibles fallos de red. El comportamiento en caso de fallos se explica brevemente a continuación. Se observan dos clases de fallos, un primer fallo F1 cerca del aerogenerador 1 y un segundo fallo F2 cerca de la segunda barra colectora 82. Los errores deben consistir en que se produzca un cortocircuito. La consecuencia del cortocircuito es que la tensión en esta zona se desploma casi a cero y que el generador del aerogenerador se alimente eventualmente en el cortocircuito.

En primer lugar, se explicará con detalle el comportamiento de un aerogenerador convencional ante ambos fallos: si hay un fallo de cortocircuito en el área F1, la tensión restante en el aerogenerador irrumpe entonces claramente. Es tan baja que se produciría una desconexión del aerogenerador convencional. El aerogenerador convencional solo puede resincronizarse después de apagarse y luego volver a alimentar potencia a la red cuando se alcanza un nivel de tensión suficiente en el área de la barra colectora 81. Ahora se asume que se produce un fallo F2 en la segunda barra 82. Debido al mayor alejamiento, la tensión restante en el aerogenerador sigue siendo lo suficientemente alta (por encima de un umbral de aproximadamente 5 a 15% de la tensión nominal) de modo que el convertidor de frecuencia del aerogenerador pueda seguir alimentando potencia eléctrica a la red. Sin embargo, en los aerogeneradores se plantea generalmente el problema de que como consecuencia de la baja inercia de masa en comparación con las centrales eléctricas convencionales con generadores síncronos, aparecen rápidamente variaciones de frecuencia o desviaciones de fase. Se produce una diferencia de fase y un aumento de frecuencia en el área del aerogenerador en cuestión.

Por tanto, los aerogeneradores convencionales con convertidor de frecuencia sin medidas adicionales no son capaces de mantener la frecuencia de la red y la posición de fase de manera sincronizada con la red residual. Esto conduce al hecho de que, después de la depuración de fallos, pueden surgir corrientes de compensación considerables debido a la frecuencia o la posición de fase desviadas. Para contrarrestar esto, según la invención, está previsto un módulo de perturbación de red 5.

En la figura 3 está representado el módulo de perturbación de red 5. Su estructura y su forma de funcionamiento deben explicarse con detalle a continuación. Unos transductores de medida 50, 50' para tensión o corriente en las fases individuales de la red están dispuestos en el lado de la red en el transformador de media tensión 17. Sus señales de medición se aplican al equipo de medición 51 como señales de entrada. El equipo de medición 51 determina a partir de ellas parámetros para la tensión de red U , su frecuencia f y la posición de fase φ . La señal para la tensión de red U así como también para la frecuencia de red f se aplica al detector 52. El detector 52 contiene etapas de diferenciación 52' para las señales de entrada, de modo que además del valor absoluto para la tensión de red U también está preparada una señal de variación de tensión ΔU y, de manera correspondiente, además de la señal absoluta para la frecuencia de red, también está preparada una señal de variación de frecuencia de red Δf . Cabe señalar que además como alternativa a la tensión pueden utilizarse también corrientes de red. Con ayuda de las señales aplicadas, el detector 52, sobre la base de la cantidad o una variación de la frecuencia y/o sobre la base de la cantidad o una variación de la tensión U , determina si se ha formado una red en isla a partir de la red 9 a la que está conectado el aerogenerador 1. Cuando se detecta una formación de red en isla, el detector 52 emite una señal de conexión correspondiente en su salida.

Las señales generadas por el equipo de medición 51 para la frecuencia f y para la posición de fase φ se aplican al generador de referencia 53 como señales de entrada. Este genera a partir de ellas un valor de referencia continuo para la frecuencia de red por medio de un equipo oscilante como un oscilador estabilizado, un PLL o un reloj de radio de alta precisión. El generador de referencia 53 está configurado en este caso de tal manera que el valor de referencia se sigue generando también cuando faltan señales del equipo de medición 51. El valor de referencia comprende una señal de frecuencia f_s así como también una señal de fase φ_s . Se emite como vector de guía a la

salida del generador de referencia 53 y se aplica al convertidor de frecuencia 3 a través de un elemento de conexión 73. Este pone en conducción el vector de guía en función de una señal de control aplicada.

La señal de conexión generada por el detector 52 para la formación de red en isla se aplica a una entrada de la unidad de guía de errores 54. Las señales para la tensión de red y, opcionalmente, otras señales para el flujo de corriente a la red y la potencia reactiva Q alimentada se aplican a otras entradas. Puede preverse otra entrada como canal de entrada para señales de guía CMD, como, por ejemplo, para apagar el aerogenerador. La unidad de guía de fallos 54 comprende un clasificador de fallos 55, un módulo de tiempo 56 y un módulo de tránsito 57. El clasificador de fallos 55 sirve para determinar a partir de las señales de entrada aplicadas si está presente y, eventualmente, qué perturbación de red está presente y seleccionar un modo de funcionamiento adecuado. Los estados y/o parámetros de funcionamiento, como para la tensión U y la frecuencia f , se pueden emitir a través de un canal de salida SAL.

Está previsto un regulador rápido de frecuencia 64 para el funcionamiento durante la formación de una red en isla. Comprende un elemento diferencial 62, a cuyas entradas se aplican la señal de frecuencia de red f determinada por el equipo de medición 51 y una señal para una frecuencia de red nominal que es generada por el generador de referencia 53. En caso de desviaciones entre la frecuencia medida y la frecuencia nominal, el regulador de frecuencia 64 está configurado para regular la potencia activa P a alimentar por el convertidor de frecuencia 3 con una constante de tiempo rápida de preferiblemente 10 a 50 ms. Para ello, el regulador de frecuencia 64 proporciona en su salida una señal para una potencia activa nominal P_s , que se aplica a una entrada de control del convertidor de frecuencia 3 a través de un elemento de conexión 74. El regulador de frecuencia también está conectado con el chopper 34 del convertidor de frecuencia 3 a través de una línea de control. Si es necesario, puede anular energía activando el chopper 34, es decir, reduciendo rápidamente la potencia activa para evitar rápida y eficientemente un aumento excesivo de la frecuencia.

Además, está prevista una unidad de seguimiento de red 67. Comprende un detector de desviación de ángulo 68 y un limitador 69. El detector de desviación de ángulo 68 presenta dos entradas a las que se aplica una respectiva señal para el ángulo (posición de fase) en la red, según lo determinado por el equipo de medición, y la fase φ_i del convertidor de frecuencia 3. A partir de la diferencia se genera una señal para la desviación del ángulo (ángulo diferencia). Esta señal se aplica al limitador, que la limita a valores límite con respecto a la cantidad y, eventualmente, también con respecto a la velocidad de variación, y la emite a la salida de la unidad de seguimiento de red. La señal de salida se aplica al generador de referencia 53. Por tanto, se origina que la fase del vector de guía se cambie de tal manera que el convertidor de frecuencia 3 alimente potencia eléctrica con una fase tal que no se excedan los valores límite.

Además, está previsto un regulador de tensión adicional opcional 65. Comprende un elemento diferencial 63 que forma una diferencia a partir de la tensión de red U realmente medida y un valor de tensión nominal aplicado U_s . El regulador de tensión 63 está configurado para determinar, sobre la base de la diferencia de tensión, una potencia reactiva nominal Q_s que se aplica al convertidor de frecuencia 3 como una señal de control a través de un elemento de conexión 75.

Las formas de funcionamiento se explican con detalle seguidamente con referencia a la figura 3. Por medio del equipo de medición 51 se miden la corriente y la tensión de la red, y determina señales a partir de ellas para la frecuencia de red f y la posición de fase φ . Sobre la base de las señales de frecuencia y de fase así determinadas, el generador de referencia 53 genera un valor de referencia continuo. Este puede utilizarse como vector de guía para la activación del convertidor de frecuencia 3. Además, el detector 52 evalúa las señales determinadas por el equipo de medición 51 para la tensión y la frecuencia o fase, y emite una señal de salida cuando se detecta una formación de red en isla. Siempre que no se detecte ninguna formación de red en isla, se repite el proceso anteriormente descrito. Si se detecta una formación de red en isla, se aplica entonces una señal de conexión al clasificador de fallos 55. Este determina a partir de la señal eventualmente aplicada para la tensión U si la tensión está por debajo del umbral que se ajusta para una identificación segura de la tensión (por ejemplo, de 5 a 15% de la tensión nominal de la red 9). En este caso, en una primera forma de funcionamiento, el clasificador de fallos 55 pone en conducción el elemento de conexión 73, de modo que el vector de guía generado por el generador de referencia 53 se aplica al convertidor de frecuencia 3. Por tanto, el convertidor de frecuencia 3 continúa alimentando corriente, mientras que en el estado de la técnica se detiene la alimentación adicional cuando una tensión está por debajo del umbral.

Por el contrario, si la tensión U está por encima del umbral predeterminado, entonces se activa por el clasificador de fallos 55 la regulación rápida de frecuencia según la invención en el caso de la formación de una red en isla detectada por el detector 52. Para ello, se conecta el elemento de conexión 74. En el caso de la regulación rápida de frecuencia, con una constante de tiempo en el rango de unos 10 ms, se intenta regular la frecuencia de red de nuevo al valor deseado. El regulador de frecuencia 64 realiza esto en tanto que se modifica la alimentación de potencia activa P del convertidor de frecuencia 3 por medio de una señal de control. En este caso, puede estar previsto opcionalmente no solo regular a la frecuencia f , sino, por el contrario, aprovechar también la fase φ . El valor nominal de la posición de fase puede proporcionarse por el generador de referencia 53. A partir de la diferencia, se determina una desviación de la regulación que conduce a una variación correspondiente de la potencia activa P alimentada por el convertidor de frecuencia 3. Si además la forma de funcionamiento activa la regulación de tensión por el accionamiento del elemento de conexión 75, se mide la tensión real de forma correspondiente y se coteja con

un valor nominal. Como valor nominal puede servir un valor de referencia determinado por el equipo de medición 51 para la tensión antes de que se produzca el fallo de red. Siempre que este valor de referencia se haya obtenido a partir de la tensión antes de que se produzca el fallo de red, este puede ser, por ejemplo, un valor medio de un intervalo temporal predeterminable de valores antes del fallo de red, habiéndose medido los valores antes de que se produzca el fallo de red y habiéndose almacenado en el controlador del aerogenerador. A partir de la diferencia de tensión determinada, se forma una señal de control por el regulador de tensión 65 que se aplica al convertidor de frecuencia 3 por medio del elemento de conexión 75, de modo que la potencia reactiva proporcionada por el convertidor de frecuencia se modifica en función de la diferencia de tensión. Está previsto convenientemente que, en caso de una diferencia de tensión demasiado grande, se regule a un valor máximo determinado que no conduzca a una sobrecarga del convertidor de frecuencia.

Si se depura el fallo de red, lo que puede determinar el clasificador de fallos 55, por ejemplo con ayuda de un incremento adicional rápido de la tensión U o una variación brusca de la posición de fase φ , la unidad de guía de fallos 54 termina entonces la regulación rápida de frecuencia por la desconexión de los elementos de conexión 73, 74, 75 y la potencia activa a alimentar por el convertidor de frecuencia 3 se ajusta de nuevo al valor antes de la aparición del fallo o a un valor de consigna externo. Para ello, está previsto un módulo de tránsito 57 que, por ejemplo, implementa una función de rampa. La señal de control correspondiente generada por el módulo de tránsito 57 se transmite al convertidor de frecuencia 3 a través del elemento de conexión 77 que se conecta por el clasificador de fallos 55 en este caso.

Gracias a la cooperación con el módulo de tiempo 56, el clasificador de fallos 55 comprueba si, dentro de un primer periodo temporal ajustable de, por ejemplo, 150 ms, la tensión aún permanece en un valor cercano a cero a pesar de la alimentación de potencia reactiva. Si este es el caso, el clasificador de fallos detecta un cortocircuito en las proximidades del aerogenerador 1 (caso de fallo F1) y, después de transcurrido este primer periodo de tiempo, emite una señal para separar el aerogenerador 1 de la red (por ejemplo, apertura del contactor de conexión 18). Por tanto, puede asegurarse que no se produzca una alimentación inadmisiblemente larga de potencia eléctrica ante un cortocircuito próximo al aerogenerador 1. Si, por el contrario, la tensión U aumenta por encima de un valor límite ajustable tras alimentar potencia reactiva, entonces el clasificador de fallos 55 detecta que el fallo se encuentra a una distancia mayor con respecto al aerogenerador 1 (caso de fallo F2). El aerogenerador 1 puede hacerse funcionar entonces durante un intervalo temporal más largo, con lo que se alimenta potencia adicional a la red, lo que es ventajoso para mantener la seguridad de funcionamiento de la red. Es conveniente que el clasificador de fallos 55 active entonces el canal de entrada. Por tanto, se posibilita que se predeterminen desde fuera valores nominales de frecuencia, que se alcanzan después de manera correspondiente. Por tanto, puede lograrse una resincronización de las magnitudes eléctricas en la red en isla con las de la red 9. Además, está previsto preferentemente que el clasificador de fallos 55 emita valores reales para la frecuencia y la tensión a través del canal de salida SAL para poder sintonizar la regulación de frecuencia y tensión en la red en isla con otros generadores de energía, como aerogeneradores adicionales. Además, el clasificador de fallos 55 comprueba si la tensión de red, después de un segundo periodo temporal determinable, preferentemente 400 ms, aumenta por encima de un umbral de tensión de, por ejemplo, 50% de la tensión nominal. Si no aumenta por encima de este valor, entonces el clasificador de fallos 55 detecta un fallo grave no depurado en la red y emite una señal de conexión para apagar el aerogenerador. Por el contrario, si es posible un funcionamiento en isla con tensión por encima del límite, el aerogenerador se apaga primero ante una señal de mando externa.

En las figuras 4a y b están representadas líneas características para el funcionamiento de la regulación rápida de frecuencia según la invención en caso de fallos de red. La figura 4a muestra el ángulo de la tensión de red φ y el ángulo de referencia φ_s generado por el generador de referencia 53 durante una perturbación de red. Se aprecia claramente el inicio de la perturbación en 0,2 s y el final de la perturbación en 3,8 s a través de saltos en la posición angular de la tensión de red en aproximadamente 15 a 20°. En la figura 4b, la variación angular $\Delta\varphi$ de la tensión de red se muestra sin (línea superior) y con (línea inferior) de la regulación rápida de frecuencia según la invención. Se aprecia que la diferencia de regulación entre el valor nominal y el valor real del ángulo de fase se estabiliza a un valor cercano a cero por el regulador rápido de frecuencia 64 con una constante de tiempo corta.

En la figura 5 está representado un complemento opcional del módulo de perturbación de red 5. Está previsto adicionalmente un módulo de sincronización 58 que, por medio de una línea de datos, está unido con el clasificador de fallos 55, el regulador de frecuencia 64 y el regulador de tensión 65 (ambos reguladores no están representados en la figura 5). El módulo de sincronización comprende preferentemente una respectiva unidad de comunicación propia 59 y una referencia temporal 59', pero puede comunicar también por medio del clasificador de fallos 55 o recibir señales de tiempo de su módulo de tiempo 56. El módulo de sincronización 58 sirve para unir el aerogenerador con el gestor de parque 7 o un lugar de control externo, como la sala de control de un operador de la red 9, y/o con otros aerogeneradores 1' que, preferentemente, están dispuestos en el mismo parque eólico. El módulo de sincronización 58 compara el vector de guía del aerogenerador propio con el otro aerogenerador 1' o con el gestor de parque 7 (o el lugar de control). Para ello, el módulo de sincronización 56 está configurado de tal manera que provea al vector de guía actual de una marca de tiempo proporcionada por la referencia temporal (o el módulo de tiempo 56) y la emite a través de la unidad de comunicación 59. Por el contrario, el módulo de sincronización 58 recibe señales correspondientes de los otros aerogeneradores o el gestor de parque 7 (o el lugar de control). La marca de tiempo se extrae y el vector de guía actual se calcula teniendo en cuenta la información de tiempo y se emite al clasificador de fallos 55.

En este caso, pueden preverse opcionalmente diferentes variantes. En una primera variante, el gestor de parque 7 emite centralmente las magnitudes de guía para tensión, frecuencia y posición de fase. Estas magnitudes también se detectan en los aerogeneradores individuales y se calculan las desviaciones a partir de ellas y se almacenan. Cuando ocurre un fallo de red, se realiza una sintonización del vector de guía determinado por el módulo de perturbación de red 5 con el vector de guía del gestor de parque 7. Esto se lleva a cabo teniendo en cuenta las desviaciones almacenadas de tal manera que al menos la frecuencia se pone en coincidencia y, si es necesario, se calcula de nuevo la posición de fase según los valores actuales para tensión y corriente y las características eléctricas, por ejemplo, de las líneas de conexión 83, 84. En una segunda variante, la sincronización se realiza de forma descentralizada. Para ello, el módulo de sincronización 58 de un aerogenerador 1 se comunica con al menos otro aerogenerador 1'. En este caso, puede estar prevista una estructura de comunicación en forma de un encadenamiento de los distintos aerogeneradores 1, 1' o de una malla en la que cada uno de los aerogeneradores 1 se comunica con los aerogeneradores adyacentes 1' previamente determinados. En una tercera variante, la comunicación se realiza con un punto externo fuera del parque eólico. Este punto está preferiblemente tan alejado que, con cierta probabilidad, cuando se produce el fallo de red, no esté en la red en isla sino en la red restante 9. Por tanto, en esta variante, la frecuencia y la tensión pueden mantenerse sincronizadas con las de la red 9 incluso si la formación de red en isla persiste durante más tiempo.

REIVINDICACIONES

1. Aerogenerador con un generador (2) accionado por un rotor eólico (12) y un convertidor de frecuencia (3), que es activado por medio de un vector de guía, para generar energía eléctrica, que se alimenta a una red (9), y con un equipo de control (4), en el que el controlador presenta un módulo de perturbación de red (5) que comprende como componentes un equipo de medición (51) para al menos un parámetro eléctrico de la red (9), un detector (52) para detectar una avería de red y emitir una señal de conexión, y un generador de referencia (53), y una unidad de gestión de fallos (54), que presenta un clasificador de fallos (55) y que coopera con el equipo de medición (51), el detector (52) y/o el generador de referencia (53) de tal manera que, en un caso de tensión insuficiente durante el funcionamiento en isla, se active un regulador de frecuencia (64) que actúa sobre el convertidor de frecuencia (3) para modificar la alimentación de potencia activa P al desviarse la frecuencia durante el funcionamiento en isla, caracterizado por que el generador de referencia, basándose en el parámetro determinado por el equipo de medición, genera un vector de guía sustitutivo para el convertidor de frecuencia que comprende valores de referencia propios para frecuencia y fase, y por que el regulador de frecuencia presenta una constante de tiempo que es menor en al menos un orden de magnitud que la de un regulador de frecuencia convencional.
2. Aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de gestión de fallos (54) coopera además con un regulador de tensión (65) de tal manera que durante el funcionamiento en isla regule la tensión de red por variación de la potencia reactiva Q.
3. Aerogenerador según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la unidad de gestión de fallos (54) está configurada además para conectar, en caso de un cortocircuito, el vector de guía sustitutivo al convertidor de frecuencia (3).
4. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la unidad de gestión de fallos (54) presenta un módulo de tiempo (56), cooperando especialmente el clasificador de fallos (55) con el módulo de tiempo (56) de tal manera que, en el caso de un cortocircuito persistente, ya no se alimenta potencia alguna a la red después de un primer periodo temporal y/o, en el caso de una tensión insuficiente persistente, ya no se alimenta de nuevo potencia alguna a la red después de un segundo periodo temporal y/o por que en caso de funcionamiento en isla, ya no se alimenta potencia alguna a la red (9) después de un tercer periodo temporal.
5. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la unidad de gestión de fallos (54) presenta un canal de entrada (CMD), a través del cual puede predeterminarse al menos la frecuencia y/o la posición de fase durante el funcionamiento en isla, y/o una canal de salida (SAL), a través del cual se emite el vector de guía durante el funcionamiento en isla.
6. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el regulador rápido de frecuencia (64) actúa adicionalmente sobre un consumidor, siendo el consumidor una resistencia controlable y/o un chopper (35) en el convertidor de frecuencia (3).
7. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la unidad de gestión de fallos (54) presenta un módulo de tránsito (57) que tiene una función de rampa y así, al final del funcionamiento en isla, la señal aplicada al convertidor de frecuencia para la potencia activa vuelve de nuevo a un valor de consigna, siendo el valor de consigna en particular el valor original antes de que se produzca el fallo de red o un valor actualmente requerido.
8. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que está prevista una unidad de seguimiento de red, que está configurada para limitar un ángulo diferencia.
9. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que está previsto un módulo de sincronización (58) que está unido con la unidad de gestión de fallos (54) y el regulador de frecuencia (64) y coopera con estos de tal modo que coteje el vector de guía con un lugar externo.
10. Aerogenerador según la reivindicación 9, caracterizado por que el módulo de sincronización presenta una unidad de comunicación (59) y/o coopera con una referencia temporal (56) para dotar al vector de guía de una marca de tiempo.
11. Parque eólico con un gestor de parque (7) y varios aerogeneradores (1) que presentan un generador (2) accionado por un rotor eólico (12) y un convertidor de frecuencia (3) para generar energía eléctrica, que se alimenta a una red (9), caracterizado por que el gestor de parque presenta un módulo de perturbación de red (5) que está configurado según una de las reivindicaciones 1 a 8.
12. Parque eólico según la reivindicación 11, caracterizado por que un módulo de sincronización según la reivindicación 9 o 10 está dispuesto en el equipo de control (4).
13. Procedimiento para hacer funcionar un aerogenerador con un generador (2) accionado por un rotor eólico (12) y un convertidor de frecuencia (3) para generar energía eléctrica que se alimenta a una red (9), activándose el convertidor de frecuencia (3) por medio de un vector de guía, caracterizado por las etapas de medir un parámetro

- 5 eléctrico de la red (9), detectar una formación de red en isla con emisión de una señal de conexión, clasificar un fallo al detectar la señal de conexión, en el que en un caso de una tensión insuficiente durante el funcionamiento en isla, se realiza una regulación de frecuencia, en la que se regula la frecuencia durante el funcionamiento en isla por medio del convertidor de frecuencia (3) y con variación de la potencia activa P, caracterizado por la etapa de generar un valor de referencia como vector de guía sobre la base del parámetro medido para el convertidor de frecuencia (3), comprendiendo el vector de guía valores de referencia propios para frecuencia y fase, y por que la regulación de frecuencia presenta una constante de tiempo que es menor en al menos un orden de magnitud que la de una regulación de frecuencia convencional.
- 10 14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado por utilizar un módulo de avería de red (5) según una de las reivindicaciones 1 a 7.
- 15 15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado por hacer funcionar un módulo de sincronización (58) según la reivindicación 8 o 9, en particular para sincronizar el aerogenerador con un gestor de parque (7) o para sincronizarlo con otro aerogenerador (1').
- 15 16. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado por que se reciben valores de consigna externos al parque y se realiza una sincronización sobre estos.

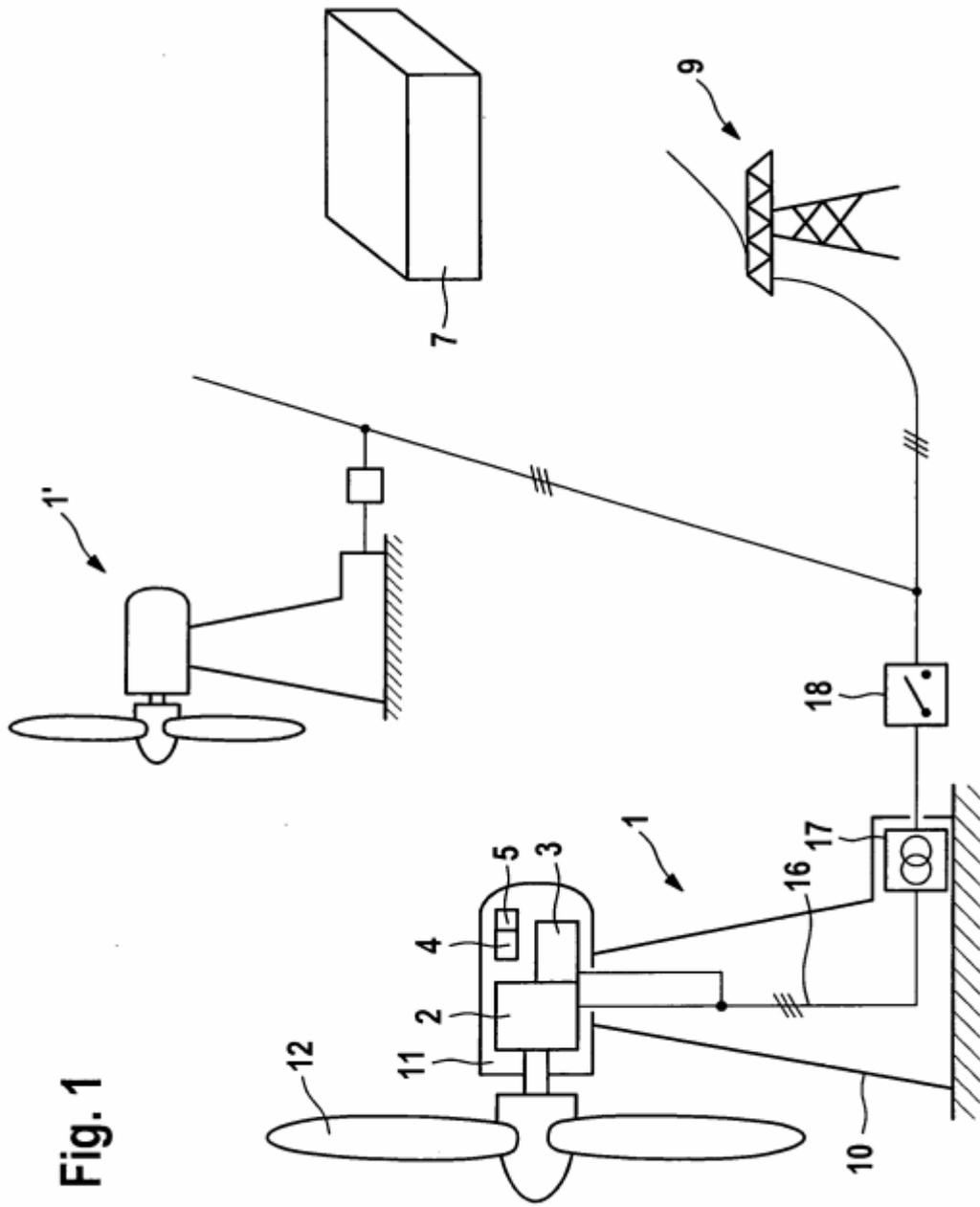


Fig. 1

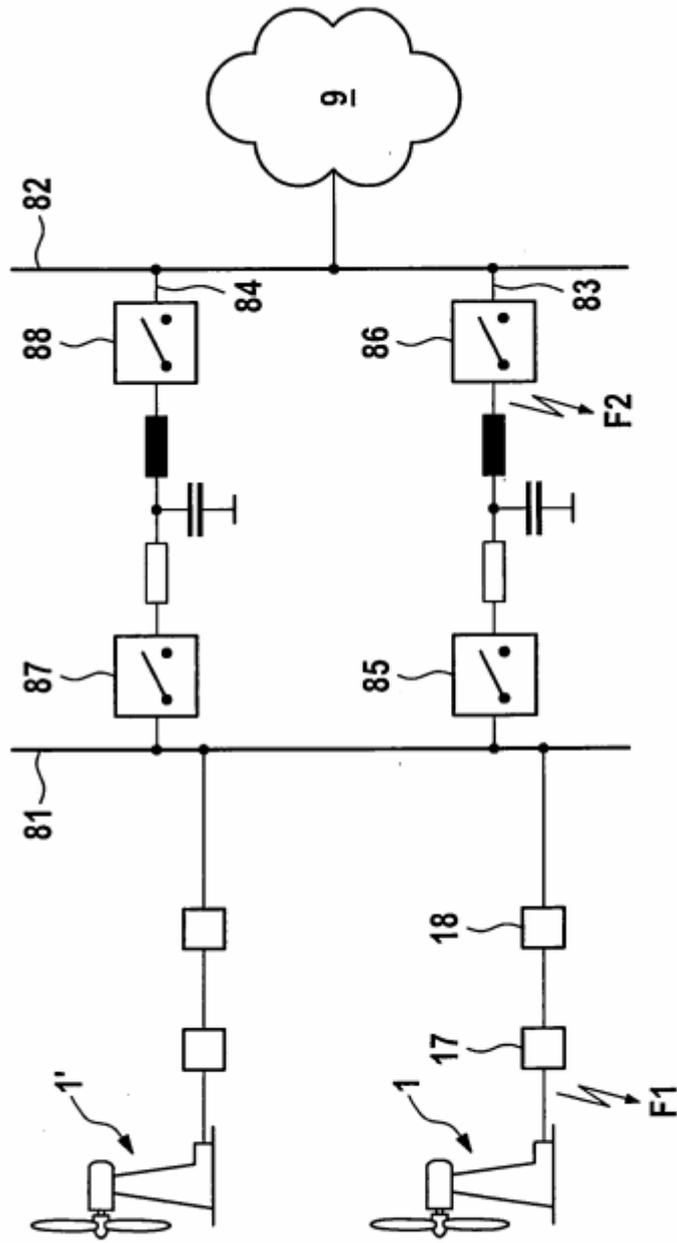


Fig. 2

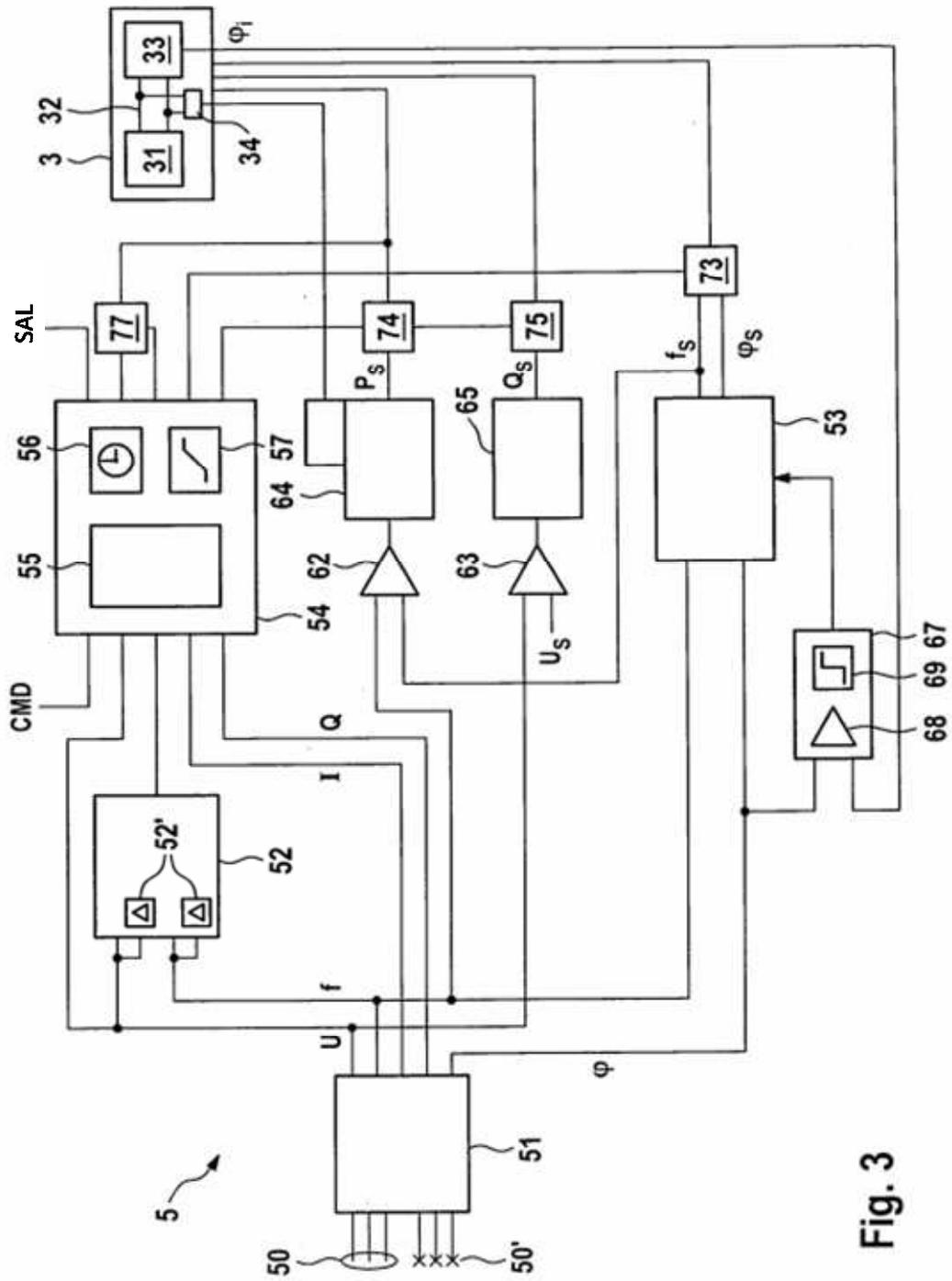


Fig. 3

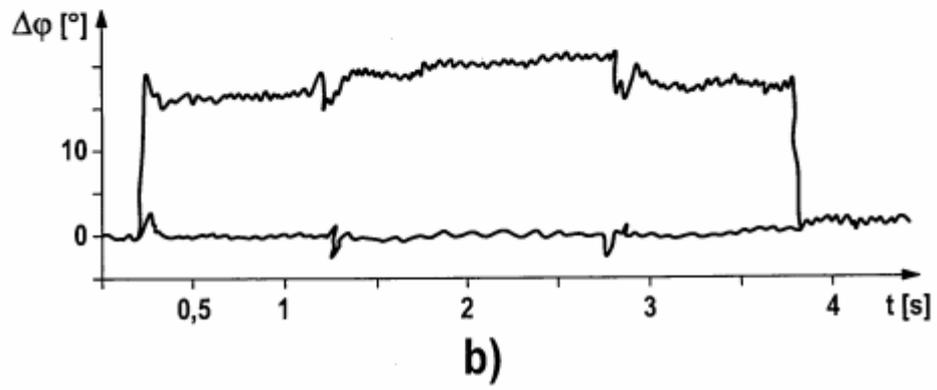
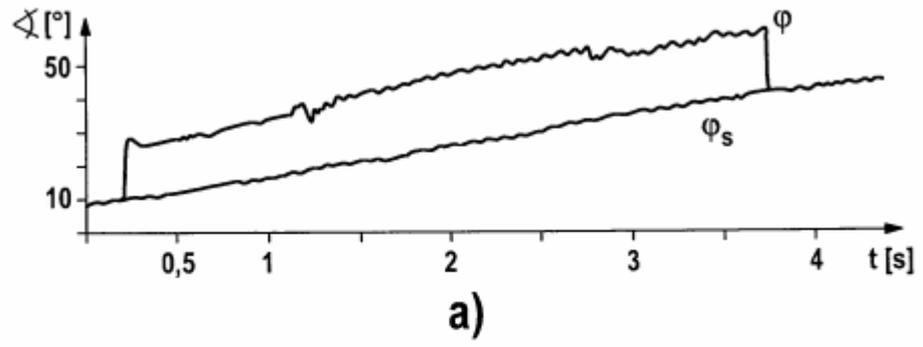


Fig. 4

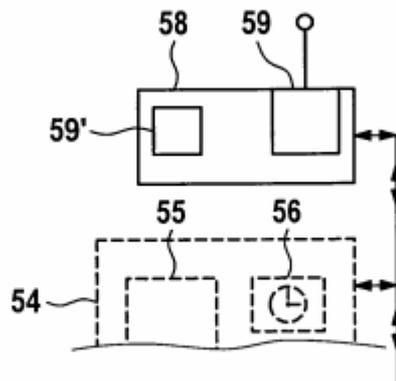


Fig. 5