(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 276 170**

(51) Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

H02H 7/06 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA TRAS OPOSICIÓN T5

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.08.2003** **PCT/DK2003/000529**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.02.2005** **WO05015012**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2003** **E 03817919 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **31.07.2019** **EP 1651865**

(54) Título: **Método de control de una turbina eólica conectada a una red eléctrica pública durante una avería en dicha red eléctrica pública, sistema de control, turbina eólica y familia de los mismos**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
25.02.2020

(73) Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

(72) Inventor/es:

REBSDORF, ANDERS VARMING y
JENSEN, MICHAEL HOULIND

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 276 170 T5

DESCRIPCIÓN

Método de control de una turbina eólica conectada a una red eléctrica pública durante una avería en dicha red eléctrica pública, sistema de control, turbina eólica y familia de los mismos

Antecedentes de la invención

La invención se refiere a un método de control de una turbina eólica conectada a una red eléctrica pública durante una avería en dicha red eléctrica pública según la reivindicación 1, un sistema de control según el preámbulo de la reivindicación 7, una turbina eólica según el preámbulo de la reivindicación 12 y una familia de turbinas eólicas según la reivindicación 13.

Descripción de la técnica relacionada

Como se conoce por ejemplo a partir de los documentos GB-A2 330 256 o US-A-5 907 192 las turbinas eólicas normalmente se conectan a una red eléctrica pública con el fin de poder generar y suministrar energía eléctrica a consumidores ubicados a distancia de las turbinas eólicas. La energía se envía a través de las líneas de transmisión o distribución de la red pública a hogares, empresas, etc.

El documento DE 3342583 A1 da a conocer un método para el funcionamiento de una turbina eólica en el que la temperatura de un generador se monitorea y la entrada de energía del rotor se controla dependiendo de la temperatura de manera que no se supera una temperatura de generador crítica.

El documento de Vladislav Akhmatov, “The mutual effects of grid and wind turbine voltage stability control”, *Wind Engineering*, Volumen 25, n.º 6, 2001, págs. 367-371 da a conocer la utilización de control de ángulo de pala para una reducción temporal de la energía de turbina eólica durante y poco después de un fallo de cortocircuito en la red.

Las turbinas eólicas y otros medios generadores de energía eléctrica conectados a una red pública están protegidos de averías en la red pública por interruptores de desconexión de red.

Una avería en la red pública puede ser, por ejemplo,

• transitorios o “subidas” que son picos de energía de muy corta duración de sobretensión y de sobrecorriente. Los transitorios más drásticos están provocados por relámpagos, pero la mayoría están provocados por grandes cargas de energía que se encienden y se apagan.

• huecos o “bajadas de tensión” que están entre las alteraciones de energía registradas más frecuentemente, y pueden ocurrir como una caída de tensión momentánea.

• interrupciones de energía, corte de energía o “apagones” que son la pérdida de energía completa en la red pública.

Los interruptores desconectan las turbinas eólicas de la red pública al detectar la avería. La avería puede definirse como variaciones de red por encima de algún límite específico, por ejemplo, caídas de tensión por encima de +/- 5% en relación con el valor nominal de la tensión de red.

Un problema con la desconexión de red de las turbinas eólicas es el hecho de que la variación de tensión puede aumentar de tamaño o duración por la pérdida de producción de energía eléctrica desde los generadores de turbina eólica. Además, las turbinas eólicas desconectadas requieren un periodo de tiempo antes de que puedan conectarse a la red pública de nuevo. La desconexión de las turbinas eólicas afecta a la producción de energía de las turbinas eólicas y por lo tanto a su efectividad.

Uno de los objetos de la invención es establecer un método y sistema de control para controlar una turbina eólica durante una avería en una red eléctrica pública sin la desventaja mencionada anteriormente. Es especialmente un objeto de la invención crear un método y sistema que mejoren la resistencia y estabilidad de la red pública durante averías así como la efectividad de las turbinas eólicas conectadas.

La invención

La invención se refiere a un método de control de una turbina eólica conectada a una red eléctrica pública durante una avería en dicha red eléctrica pública, comprendiendo dicho método las etapas tal como se define en la reivindicación 1.

Por la presente, se establece un método para controlar una turbina eólica durante una avería en una red eléctrica pública sin la desventaja mencionada anteriormente. Especialmente, es ventajoso que el método permita que la turbina eólica permanezca conectada y suministre energía a la red durante la avería sin dañar los componentes en la turbina eólica. La turbina eólica ayudará a estabilizar la red pública permaneciendo conectada y generando

energía durante la avería mientras que una desconexión inicial puede aumentar o prolongar la avería.

En un aspecto de la invención, dicha detección de una avería de red se realiza de manera continua o discontinua, por ejemplo, cada medio segundo. Por la presente, es posible garantizar una alta fiabilidad en la detección así como un alto rendimiento y un tiempo de respuesta breve desde el comienzo de la avería.

Por la presente, es posible monitorear los componentes de una turbina eólica que normalmente es lo más probable que se sometan a temperaturas altas durante una avería y así afrontar reducciones de la durabilidad si no se monitorea y controla la propiedad.

En un aspecto adicional de la invención, la avería de red se detecta como variaciones de temperatura, frecuencia, corriente y/o tensión de red por encima de un primer límite predefinido. Por la presente, se consiguen realizaciones ventajosas de la invención, especialmente porque los límites pueden compensarse para ajustarse a diferentes aplicaciones y condiciones exteriores. Además, los valores detectados pueden combinarse para establecer una indicación clara de una avería de red.

En otro aspecto adicional de la invención, dicha turbina eólica se desconecta de la red pública a variaciones de temperaturas o de frecuencia, corriente, tensión de red por encima de un segundo límite predefinido. Por la presente, se garantiza que los componentes de turbina eólica no se dañan por averías severas o de larga duración en la red pública. Además, se garantiza que la turbina eólica no se mantiene conectada a la red si la conexión no tiene sentido, por ejemplo, en apagones totales.

En un aspecto de la invención, el paso se controla de manera continua durante la avería. Según la invención, puede garantizarse que la energía absorbida en los componentes y, por tanto, la temperatura interna en los componentes no puede ascender hasta un nivel defectuoso, por ejemplo, dañando la durabilidad de los componentes.

Según la invención, se garantiza que la turbina eólica puede mantenerse conectada a la red durante un periodo más largo en el que la avería puede desaparecer de nuevo.

En un aspecto de la invención, el paso óptimo se reanuda después de que la avería se ha detectado como terminada. Por la presente, se consigue una realización ventajosa de la invención, especialmente cuando la generación de energía se asume rápidamente y garantizando de ese modo la efectividad de la turbina eólica.

La invención también se refiere a un sistema de control en el que dicho sistema comprende las características según la reivindicación 7.

Por la presente, se establece un sistema de control para controlar una turbina eólica durante una avería en una red eléctrica pública sin la desventaja mencionada anteriormente.

La invención también se refiere a una turbina eólica en la que dicha turbina eólica comprende las características según la reivindicación 12.

Por la presente, se establece una turbina eólica ventajosa que puede quedar conectada a una red pública durante una avería en la red.

La invención también se refiere a una familia de turbinas eólicas tales como uno o más parques de turbinas eólicas conectadas y que suministran energía eléctrica a una red pública, comprendiendo dicha familia las características según la reivindicación 13.

Puesto que las fluctuaciones de energía procedentes de la conmutación de la red pública son un gran problema con una desregulación de la red aumentada y una cooperación comercial de la red inferior, es ventajoso poder controlar parques de turbinas eólicas centralmente y garantizar especialmente que los parques no se desconecten de manera innecesaria durante averías. Menos cambios durante averías también hacen más fácil controlar la estabilidad de la red pública desde una posición central.

Figuras

La invención se describirá a continuación con referencia a las figuras en las que

la figura 1 ilustra una gran turbina eólica por módem,

la figura 2 ilustra la conexión para una turbina eólica a una red pública,

la figura 3 ilustra un ejemplo de un aumento de tensión y corriente en una turbina eólica conectada a una red pública con una avería,

la figura 4 ilustra una turbina eólica con un sistema de control en una realización según la invención,

la figura 5 ilustra esquemáticamente los diferentes componentes de una turbina eólica y un sistema de control según la invención,

la figura 6 ilustra el sistema de control según la invención en conexión con una turbina eólica que comprende un generador eléctrico de doble alimentación,

las figuras 7a a 7d ilustran ejemplos de generación de energía y temperatura a partir de una turbina eólica en un paso variable en conexión con una avería de una red pública,

la figura 8 ilustra un ejemplo más detallado de medición y control de temperatura en un generador eléctrico,

la figura 9 ilustra un ejemplo más detallado de medición de temperatura en un convertidor de frecuencias,

las figuras 10a y 10b ilustran un método según la invención de control de turbina eólica conectada a una red eléctrica pública durante una avería en la red, y

la figura 11 ilustra una familia de turbinas eólicas conectadas a una red pública.

Descripción detallada

La figura 1 ilustra una turbina eólica por módem 1 con una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada en la parte superior de la torre. El rotor de turbina eólica 5, que comprende tres palas de turbina eólica, está conectado a la góndola a través del árbol de baja velocidad que se extiende más allá de la parte frontal de góndola.

Tal como se ilustra en la figura, el viento más allá de un nivel determinado activará el rotor debido a la sustentación inducida en las palas y permitirá que gire en una dirección perpendicular al viento. El movimiento de rotación se convierte en energía eléctrica, que se suministra a la red pública.

La figura 2 ilustra la conexión para una turbina eólica a una red pública para suministrar energía eléctrica a los consumidores.

La turbina eólica 1 comprende el rotor de turbina eólica 5 donde el ángulo de cada pala se controla para conseguir una producción de energía preferida durante el uso normal. El rotor está conectado al generador eléctrico 7 a través del árbol de velocidad alta y baja separado por los medios de engranaje 6. La energía eléctrica generada se transfiere a un transformador trifásico 12 a través de tres fases que comprenden impedancias 8 con un valor Z. El transformador 12 garantiza que la tensión generada se intensifica hasta la tensión de red, tal como desde una tensión generada de unos cientos de voltios de CA hasta unos miles de voltios de CA de la red pública 13.

La figura adicionalmente ilustra que una avería 14 ha sucedido en algún lugar en la red pública, por ejemplo, en forma de una bajada de tensión importante. La avería da como resultado una caída de tensión en la turbina eólica y, por tanto, también en una corriente creciente desde la turbina eólica si se mantiene la generación de energía. Para proteger la turbina eólica de averías de red, la turbina se desconecta normalmente de la red pública mediante interruptores de desconexión 10. Los interruptores de desconexión 10 se controlan por un sistema de detección 11 que detecta cambios de tensión o corriente en la red pública en la turbina eólica. En el caso de una avería que da como resultado un cambio de tensión o corriente por encima de un límite, las tres fases se abren por los interruptores y la turbina eólica, por tanto, se desconecta de la red pública.

En la desconexión de red de la turbina eólica, la energía generada puede cortocircuitarse a través de las tres impedancias 8 por los interruptores 9 que comprenden dos tiristores antiparalelos por fase. La generación de energía de la turbina eólica se termina rápidamente en la desconexión de red regulando el paso de las palas en contra del viento y deteniendo la turbina eólica.

Después de que el sistema de detección 11 haya detectado que la situación de la red pública ha vuelto a la normalidad, la turbina eólica puede ponerse en marcha de nuevo liberando los frenos mecánicos y regulando el paso de las palas en el sentido del viento de nuevo.

La figura 3 ilustra un ejemplo de un aumento de tensión y corriente en una turbina eólica conectada a una red pública con una avería.

La tensión de red tiene un valor de tensión nominal de U pero puede variar en condiciones normales (en o cerca de la turbina eólica) con un valor porcentual +/- Δ% de U sin una desconexión de la turbina eólica como consecuencia.

En la figura, se ilustra cómo el valor de la tensión de la red de repente comienza para caer y en t_{mal} el sistema de detección 11 detecta que la tensión ha caído por debajo del límite correspondiente al valor - Δ% de U.

Durante la caída de tensión, la corriente I enviada desde la turbina eólica está aumentando debido al hecho de que la turbina eólica está generando la misma cantidad de energía P (= U * I = > I = P / U = > cayendo U a P constante da como resultado el aumento de I). La corriente I estará en aumento hasta que la tensión caiga por debajo del límite y se desconecte la turbina eólica. De aquí en adelante en el presente documento, la corriente I caerá hasta ser nula después de que la turbina eólica se haya detenido y la última corriente se descargue en las impedancias Z.

Una avería puede ser de duración más corta o más larga pero se mide normalmente en pocos segundos. Además, la importancia de una avería puede variar, por ejemplo, desde un apagón completo de red hasta unas caídas o picos de tensión más pequeños.

La figura 4 ilustra una turbina eólica 1 con un sistema de control 16 en una realización preferida según la invención.

El sistema de control está conectado a los diferentes componentes de la turbina eólica tales como el rotor de turbina eólica y el control de paso de las palas de rotor, los medios de engranaje, el generador, un convertidor de frecuencias, el transformador y los interruptores de desconexión. El sistema de control detecta una o más propiedades de trabajo físicas de al menos un componente de la turbina eólica durante la avería de red pública para evitar o retrasar la desconexión controlando los componentes de turbina eólica tales como el ángulo de paso de las palas de rotor.

El sistema de control permite que se controle la generación de energía de la turbina eólica con respecto a una avería mientras que las propiedades de trabajo físicas de al menos un componente de la turbina eólica están bajo vigilancia. Cuando la avería se detecta, el sistema de control controla el nivel de generación de energía hasta que la avería desaparece o al menos una de las propiedades de trabajo físicas aumenta por encima de un límite predefinido. En el caso de que una propiedad de trabajo física cruce el límite, la turbina eólica se desconecta de la red pública y se detiene la turbina eólica. El sistema de control puede ser el sistema de control normal para la turbina eólica que comprende funcionalidades adicionales y se usa de manera diferente durante averías o un sistema de control independiente que se encarga del sistema de control normal durante averías.

Como la avería de red pública puede iniciar una corriente más alta I desde el generador de turbina eólica, es especialmente importante detectar la temperatura de los componentes. La temperatura comenzará a ascender debido a la mayor energía absorbida por los componentes ($P_{comp} = I_{ave}^{2} * R_{comp}$ = > I más alta = más energía absorbida en los componentes). La temperatura en uno o más de los componentes de turbina eólica es un ejemplo de una propiedad de trabajo física. Además, la corriente o la tensión de red pueden usarse como ejemplos de una propiedad de trabajo física, solas o en relación con la temperatura de los componentes.

La detección de una avería de red puede realizarse de manera continua o discontinua, por ejemplo, cada medio segundo. Además, la avería puede detectarse indirectamente midiendo la temperatura en uno o más de los componentes de turbina eólica y asumiendo que una temperatura ascendente por encima de un límite es el resultado de una avería en la red pública.

La figura 5 ilustra esquemáticamente la conexión entre los diferentes componentes de la turbina eólica 1 y un sistema de control 16.

La sección dentro de la línea de puntos más pequeña muestra diferentes componentes de la turbina eólica que pueden someterse a la detección de las propiedades de trabajo físicas durante una avería. Algunos de los componentes son parte del sistema de generación eléctrica de la turbina eólica tales como el generador eléctrico, el transformador y los circuitos de control de generador. Los circuitos de control de generador pueden ser uno o más convertidores de frecuencias que adaptan la frecuencia de la energía generada a la frecuencia de red. El resto de los componentes son parte del sistema mecánico tal como los medios de engranaje.

Todos los componentes eléctricos comprenden resistencia eléctrica donde la energía se absorberá con un aumento de temperatura como resultado. Los componentes eléctricos comprenden diferentes medios de refrigeración tales como ranuras de refrigeración, ventiladores y medios para hacer circular agua a través de los componentes como un medio de refrigeración para controlar la temperatura del componente.

La temperatura puede medirse en los componentes como una medición directa en el componente, por ejemplo, sensores de temperatura en posiciones fundamentales o como una medición indirecta, por ejemplo, en el medio de refrigeración después de haber fluido a través del componente. Otras propiedades de trabajo físicas pueden medirse con el sensor necesario, por ejemplo, sensores de tensión o corriente.

Los valores medidos para las propiedades de trabajo físicas se transfieren al sistema de control a través de las conexiones 23a junto con valores de red pública tales como la corriente suministrada y la tensión de red. El sistema de control puede procesar los valores de maneras diferentes para establecer señales para controlar la generación de energía de la turbina eólica durante la avería. El proceso puede simplemente implicar la comparación entre los valores y los valores límite predefinidos donde los límites indican el paso desde la operación segura hasta la

operación que puede dañar la durabilidad del componente en cuestión y de este modo es apropiado indicar una desconexión de la turbina eólica de la red pública.

El proceso puede también implicar varios límites intermedios, cada uno indicando una operación menos segura hasta alcanzar el límite de una operación perjudicial. Cada cruce del límite puede dar como resultado una señal de control que controla la generación de energía de la turbina eólica durante la avería, por ejemplo, una reducción sucesiva de la generación de energía mientras que la temperatura continúa aumentando en un componente.

Además, el proceso puede usar diferentes fórmulas matemáticas, por ejemplo, para determinar la tasa de aumento en una propiedad de trabajo física. Si la tasa empieza a excederse demasiado el sistema de control puede responder a este hecho aunque no se haya cruzado el límite.

La figura 6 ilustra una realización preferida del sistema de control 16 en conexión con una turbina eólica que comprende un generador asincrónico eléctrico de doble alimentación 7.

El generador comprende un estator 7a, conectado a la red pública a través del transformador trifásico 12. El rotor 7b del generador se acciona mecánicamente por el rotor 5 a través del árbol de velocidad baja, los medios de engranaje 6 y el árbol de velocidad alta. Además, el rotor está conectado eléctricamente a los circuitos de control de generador tales como un convertidor de frecuencias 17. El convertidor de frecuencias incluye un rectificador para rectificar la tensión de CA del generador a una tensión de CC, un enlace de CC para suavizar la tensión de CC y un inversor para cambiar la tensión de CC a una tensión de CA de nuevo con una frecuencia preferida. La tensión de CA resultante con la frecuencia preferida se transfiere a la red pública a través del transformador.

Los interruptores de desconexión y el paso de las palas de rotor estás controlados por el sistema de control según la invención basándose en los valores medidos de tensión, corriente y/o temperatura. La figura ilustra cómo los valores de temperatura pueden medirse en diferentes componentes tales como el rotor o estator del generador eléctrico, el transformador, los circuitos de control de generador y los medios de engranaje, por ejemplo, en el aceite de engranaje.

Las figuras 7a a 7d ilustran ejemplos de curvas de temperatura y generación de energía desde una turbina eólica en un paso variable con respecto a una avería de una red pública.

La figura 7a ilustra un ejemplo del aumento de temperatura de un componente de turbina eólica y la generación de energía durante la conexión a la red pública a una funcionalidad normal así como la avería en la red.

La curva de temperatura se ilustra como horizontal durante la funcionalidad normal de la red pública. Sin embargo, en el momento de avería, la temperatura comienza a aumentar debido a la caída de tensión de red y el aumento de corriente mientras que la generación de energía por el generador de la turbina eólica se mantiene constante.

Después del inicio de la avería, el ángulo de paso de las palas de rotor puede cambiarse y de ese modo reducir la generación de energía, tal como está ilustrado en la figura 7b, para controlar el ascenso de temperatura. Esto se ilustra cuando la estabilización de la curva de temperatura a un nivel más alto pero por debajo de un límite $T_{máx}$ (indicando con una línea de puntos la temperatura más alta aceptable en el componente).

La figura 7b ilustra las curvas de generación de energía y el ángulo de paso α correspondiente al aumento de temperatura en el componente como se ilustra en la figura 7a.

La curva de paso sólo ilustra el paso que se reduce una vez desde un valor óptimo durante la generación de energía normal hasta un valor inferior para estabilizar la temperatura de un componente de turbina eólica como, por ejemplo, la temperatura del generador.

El paso se reduce instantáneamente desde el valor óptimo hasta un valor inferior, por ejemplo, desde un valor que da como resultado el 100% de la producción del generador hasta el 30% y posteriormente se desconecta si se producen temperaturas demasiado altas. Además, el valor de paso se reduce en fases más pequeñas o de manera continua, por ejemplo, en respuesta a un aumento de temperatura detectado en un componente hasta que la temperatura se estabiliza o el valor del paso alcanza un límite inferior en el que la turbina eólica se desconecta de la red.

La figura 7c ilustra la curva de energía como sustancialmente horizontal durante la situación normal pero debe entenderse que la producción puede cambiar, por ejemplo, en relación con fluctuaciones en la velocidad del viento y la demanda de red.

En el tiempo t_{mal} se produce una avería en la red pública, por ejemplo, una bajada en la tensión de red más allá de los límites predefinidos en el sistema de control de la turbina eólica. El sistema de control detecta los valores de una propiedad de trabajo física y en respuesta comienza a cambiar el ángulo de paso de las palas de rotor para reducir

la generación de energía de la turbina eólica (ilustrada con la curva ligeramente declinada). Después de un determinado período de tiempo los valores cruzan un límite y el sistema de control desconecta la turbina eólica de la red. En la desconexión, la generación de energía de la turbina eólica se detiene como se indica con la curva sustancialmente vertical. La generación de energía se mantiene retenida hasta que se elimina la avería de la red pública y la turbina eólica puede conectarse a la red pública una vez más.

La figura 7d ilustra otro ejemplo en el que la generación de energía se mantiene durante la avería a un nivel inferior en el que los valores se detectan y comparan con el límite. Después de la eliminación de la avería, la generación de energía se restablece una vez más hasta su nivel completo.

Se pueden registrar los diferentes valores de temperatura en medios de memoria del sistema de control tales como un valor de temperatura registrado cada 5 o cada 30 minutos. Los valores pueden usarse posteriormente para determinar el efecto de durabilidad sobre el componente de turbina eólica por el ascenso de temperatura.

La figura 8 ilustra un ejemplo más detallado de medición de temperatura en un generador eléctrico.

El generador asincrónico comprende al menos un estator hueco en el que está fluyendo el medio de refrigeración. El medio de refrigeración se transfiere desde un contenedor 21 con los medios de bombeo 20 a través de tuberías hasta una entrada del estator hueco 19. En el estator hueco, el medio se hace circular en cavidades del estator para refrigerar las superficies internas del estator e indirectamente el rotor está rodeado por el estator. El medio calentado se libera posteriormente del estator a los medios de refrigeración exteriores antes de volver a entrar en el estator de nuevo.

Las mediciones de temperatura pueden obtenerse colocando sensores en el medio de refrigeración a medida que el medio abandona el estator da una indicación indirecta de la temperatura en el estator así como en el rotor. Además, los sensores de temperatura estándares situados dentro del estator y rotor pueden obtener las mediciones de temperatura necesarias. Incluso además, las mediciones de temperatura pueden obtenerse por otros métodos de medición de temperatura tales como la detección de la radiación infrarroja desde distintas ubicaciones del generador.

La figura 9 ilustra un ejemplo más detallado de medición de temperatura en un convertidor de frecuencias.

Como se ha explicado anteriormente, el convertidor de frecuencias 17 comprende un rectificador 17a, un enlace de CC 17b y un inversor 17c, donde el rectificador y el inversor se establecen con tiristores o interruptores semiconductores similares. Los tiristores del rectificador y especialmente el inversor se controlan de maneras bien conocidas para establecer la tensión de CA preferida y la frecuencia a la red pública.

Un resistor en el enlace de CC puede usarse como carga de descarga para cualquier energía generada después de la desconexión de la turbina eólica. El resistor así como los tiristores se refrigeran preferiblemente por aire o por agua. Midiendo la temperatura situada en los tiristores con sensores de temperatura, es posible establecer una indicación de la temperatura en el material semiconductor de los tiristores. Además, también es posible medir la temperatura indirectamente colocando sensores en el flujo de aire o agua de los tiristores.

La figura también ilustra el generador asincrónico de doble alimentación con mediciones de temperatura en el rotor y el estator.

Las mediciones de temperatura se compensan preferiblemente en el sistema de control por las consecuencias de cualquier temperatura ambiente muy alta o muy baja.

Las figuras 10a y 10b ilustran un método a modo de ejemplo, que no es parte de la invención, para controlar una turbina eólica conectada a una red eléctrica pública durante una avería en la red.

El método comprende las etapas de:

• conectar una turbina eólica a la red pública y controlar la generación de energía con un sistema de control.

• detectar las condiciones de red con el sistema de control tales como la tensión de red en la conexión de turbina eólica.

• comparar los valores con un primer límite predefinido para determinar la avería, por ejemplo, una caída de tensión por encima del +/- 5 por ciento. Si los valores están por debajo del límite, la turbina eólica se hace funcionar normalmente.

• comparar los valores de avería detectados con los segundos límites predefinidos para determinar la importancia de la avería, por ejemplo, un apagón completo de la red que requiera una desconexión inmediata de la turbina eólica de la red.

• detectar diferentes temperaturas de los componentes en la turbina eólica.

• reducir la producción de energía de la turbina eólica cambiando el paso de las palas de rotor como resultado de dichas mediciones de temperatura.

• comparar la temperatura con límites predefinidos para la temperatura en los componentes. La generación de energía se mantiene en el nivel inferior durante la avería hasta que la temperatura aumenta demasiado cuando se cambia el paso una vez más para reducir adicionalmente la generación de energía. La turbina eólica puede desconectarse de la red por el sistema de control si la detección de temperatura indica que el aumento de temperatura está cerca de un nivel perjudicial.

La figura 11 ilustra una familia de turbinas eólicas, que puede ser un parque eólico en tierra o en el mar de turbinas eólicas con una conexión común 24 a la red pública 13. La conexión incluye interruptores 10 para conectar o desconectar el parque de la red en la que los interruptores se controlan por un sistema de control central 16 durante una avería en la red. El sistema de control se suministra con valores detectados de propiedades de trabajo físicas de diferentes componentes en cada una de las turbinas eólicas, por ejemplo, la temperatura de los componentes y la corriente suministrada de la turbina eólica. Los valores se usan para controlar la generación de energía de las turbinas eólicas cambiando el ángulo de paso de las palas de rotor en las turbinas eólicas relevantes y/o desconectando una o más de las turbinas eólicas en el parque. Usando un sistema de control central para detectar valores relevantes de propiedades de trabajo físicas y cambiar la generación de energía de las turbinas eólicas del parque es posible mantener el parque conectado a la red pública en una situación de avería.

La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos. Sin embargo, debe entenderse que la invención no está limitada a los ejemplos particulares descritos anteriormente sino que puede usarse en relación con una amplia variedad de aplicaciones tales como diferentes tipos de turbinas eólicas donde las palas de rotor pueden controlarse, por ejemplo, tipos que implican paso o pérdida activa. Además, debe entenderse que especialmente el sistema de control según la invención puede diseñarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones. Especialmente, las propiedades de trabajo físicas detectadas pueden medirse en cualquier ubicación preferida del componente por cualquier medio y método de medición posibles.

Lista

1.	Turbina eólica
2.	Torre de turbina eólica
3.	Góndola de turbina eólica
4.	Buje de turbina eólica
5.	Palas de rotor de turbina eólica
6.	Medios de engranaje
7, 7a, 7b.	Generador eléctrico, estator, rotor
8.	Impedancia entre el generador y el transformador
9.	Interruptores de tiristor para cortocircuitar dichas impedancias
10.	Interruptores de desconexión de red
11.	Sistema de detección para los interruptores de desconexión
12.	Transformador eléctrico
13.	Red pública
14.	Avería de red, por ejemplo, cortocircuito
15.	Control de paso de dichas palas de rotor
16.	Sistema de control para una turbina eólica

17, 17a-17b.	Convertidor de frecuencias, rectificador, enlace de CC intermedio, inversor
18.	Canales de refrigeración
19.	Entrada de medios de refrigeración
20.	Bomba para medios de refrigeración
21.	Contenedor para medios de refrigeración
22.	Familia de turbinas eólicas tales como un parque de turbinas eólicas en el mar
23, 23a.	Conexiones de señales detectadas
23b.	Conexiones de señales de control
24.	Conexión principal
P, U, I, Z.	Energía, tensión, corriente, impedancia
α	Ángulo de paso
Δ	Valor de Delta
t.	Tiempo
T.	Temperatura
(= X).	Medición de temperatura en componentes de la turbina eólica

REIVINDICACIONES

1. Método de control de una turbina eólica (1) conectada a una red eléctrica pública (13) durante una avería en dicha red eléctrica pública, comprendiendo dicho método las etapas de

detectar una avería (14) en dicha red eléctrica pública (13),

monitorear la temperatura en el estator y/o rotor (7a, 7b) del generador (7), los semiconductores de los sistemas de control eléctrico (17), el transformador (12) y/o los medios de engranaje (6) de la turbina eólica (1),

comparar dicha temperatura con al menos un límite predefinido, y

controlar el paso de una o más palas de turbina eólica (5) de dicha turbina eólica (1) para mantener dicha temperatura por debajo de al menos un límite predefinido en un período de tiempo de dicha avería, donde el paso de dicha una o más palas de turbina eólica se controla para reducir la energía generada desde el generador de turbina eólica durante la avería, comprendiendo el control del paso reducir instantáneamente el paso desde un valor óptimo durante generación de energía normal hasta un valor inferior y posteriormente desconectar la turbina eólica de la red si se producen temperaturas demasiado altas, y reducir además el paso en pequeñas fases o de manera continua en respuesta a un aumento de dicha temperatura monitoreada hasta que la temperatura se estabiliza o el valor del paso alcanza un límite inferior en cuyo caso la turbina eólica se desconecta de la red.

2. Método de control de una turbina eólica según la reivindicación 1, donde dicha detección de una avería de red se realiza de manera continua o discontinua por ejemplo cada medio segundo.

3. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde la avería de red se detecta como variaciones de temperatura, frecuencia, corriente y/o tensión de red por encima de un primer límite predefinido.

4. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde dicha turbina eólica se desconecta de la red pública a variaciones de tensión, corriente, frecuencia de red o temperaturas por encima de un segundo límite predefinido.

5. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el paso se controla de manera continua durante la avería.

6. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde el paso óptimo se reanuda después de que la avería se ha detectado como terminada.

7. Sistema de control (16) para una turbina eólica (1) conectada y que suministra energía eléctrica a una red pública (13), comprendiendo dicho sistema

medios (11) para detectar una avería en dicha red eléctrica pública, y

medios para monitorear la temperatura en el estator y/o rotor (7a, 7b) del generador (7), los semiconductores de los sistemas de control eléctrico (17), el transformador (12) y/o los medios de engranaje (6) de la turbina eólica (1),

caracterizado porque

dicho sistema adicionalmente comprende

medios para la comparación de dicha temperatura y al menos un límite predefinido, y

medios (15) para controlar el paso de una o más palas de turbina eólica (5) de dicha turbina eólica (1) en un período de tiempo de dicha avería, donde el paso de dicha una o más palas de turbina eólica se controla para reducir la energía generada desde el generador de turbina eólica durante la avería, comprendiendo el control del paso reducir instantáneamente el paso desde un valor óptimo durante generación de energía normal hasta un valor inferior y posteriormente desconectar la turbina eólica de la red si se producen temperaturas demasiado altas, y reducir además el paso en pequeñas fases o de manera continua en respuesta a un aumento de dicha temperatura monitoreada hasta que la temperatura se estabiliza o el valor del paso alcanza un límite inferior en cuyo caso la turbina eólica se desconecta de la red,

donde el paso de dicha una o más palas de turbina eólica (5) se controla en respuesta a dicha comparación para mantener dicha temperatura por debajo de dicho al menos un límite predefinido.

8. Sistema de control para una turbina eólica según la reivindicación 7, caracterizado porque dichos medios para detectar una avería son medios para detectar variaciones de temperatura, frecuencia, corriente y/o tensión de red.

9. Sistema de control para una turbina eólica según la reivindicación 7 o 8, caracterizado porque dichos medios para detectar una avería comprenden límites mínimo y máximo predefinidos para los valores de tensión, frecuencia de corriente y/o temperatura para fines de comparación.

10. Sistema de control para una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque dichos medios para la detección de una avería detectan valores de avería de manera continua o discontinua.

11. Sistema de control para una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado porque dicho sistema incluye medios de almacenamiento para al menos un valor límite predefinido tal como valores límite para variaciones de tiempo de avería, temperatura, tensión, corriente y/o frecuencia.

12. Turbina eólica (1) conectada y que suministra energía eléctrica a una red pública (13), comprendiendo dicha turbina

varios componentes que comprenden uno o más generadores (7, 7a, 7b), sistemas de control eléctrico (17, 17a, 17b), transformadores (12) y medios de engranaje (6) así como palas de rotor controlables (5),

medios (11) para detectar una avería en dicha red eléctrica pública, y

medios para monitorear la temperatura de al menos uno de dichos componentes,

caracterizada porque

dicha turbina eólica comprende además

un sistema de control (16) para la comparación de dicha temperatura y al menos un límite predefinido, y

medios (15) para controlar el paso de una o más palas de turbina eólica (5) en un período de tiempo de dicha avería para mantener dicha temperatura por debajo de dicho al menos un límite predefinido, donde el paso de dicha una o más palas de turbina eólica se controla para reducir la energía generada desde el generador de turbina eólica durante la avería, comprendiendo el control del paso reducir instantáneamente el paso desde un valor óptimo durante generación de energía normal hasta un valor inferior y posteriormente desconectar la turbina eólica de la red si se producen temperaturas demasiado altas, y reducir además el paso en pequeñas fases o de manera continua en respuesta a un aumento de dicha temperatura monitoreada hasta que la temperatura se estabiliza o el valor del paso alcanza un límite inferior en cuyo caso la turbina eólica se desconecta de la red.

13. Familia de turbinas eólicas (22) tal como uno o más parques de turbinas eólicas conectadas y que suministran energía eléctrica a una red pública (13), comprendiendo dicha familia

al menos dos turbinas eólicas (1) cada una con una o más palas de rotor controlables (5),

medios (11) para detectar una avería en dicha red eléctrica pública,

medios para monitorear la temperatura de al menos un componente de dichas al menos dos turbinas eólicas,

un sistema de control central (16) para la comparación de dicha temperatura y al menos un límite predefinido, y

medios (15) para controlar el paso de dicha una o más palas de turbina eólica de una o más de dichas al menos dos turbinas eólicas en un período de tiempo de dicha avería para mantener dicha temperatura por debajo de dicho al menos un límite predefinido, donde el paso de dicha una o más palas de turbina eólica se controla para reducir la energía generada desde cada uno de los generadores de turbina eólica de dicha una o más de dichas al menos dos turbinas eólicas durante la avería, comprendiendo el control del paso reducir instantáneamente el paso desde un valor óptimo durante generación de energía normal hasta un valor inferior y posteriormente desconectar la turbina eólica de la red si se producen temperaturas demasiado altas, y reducir además el paso en pequeñas fases o de manera continua en respuesta a un aumento de dicha temperatura monitoreada hasta que la temperatura se estabiliza o el valor del paso alcanza un límite inferior en cuyo caso la turbina eólica se desconecta de la red.

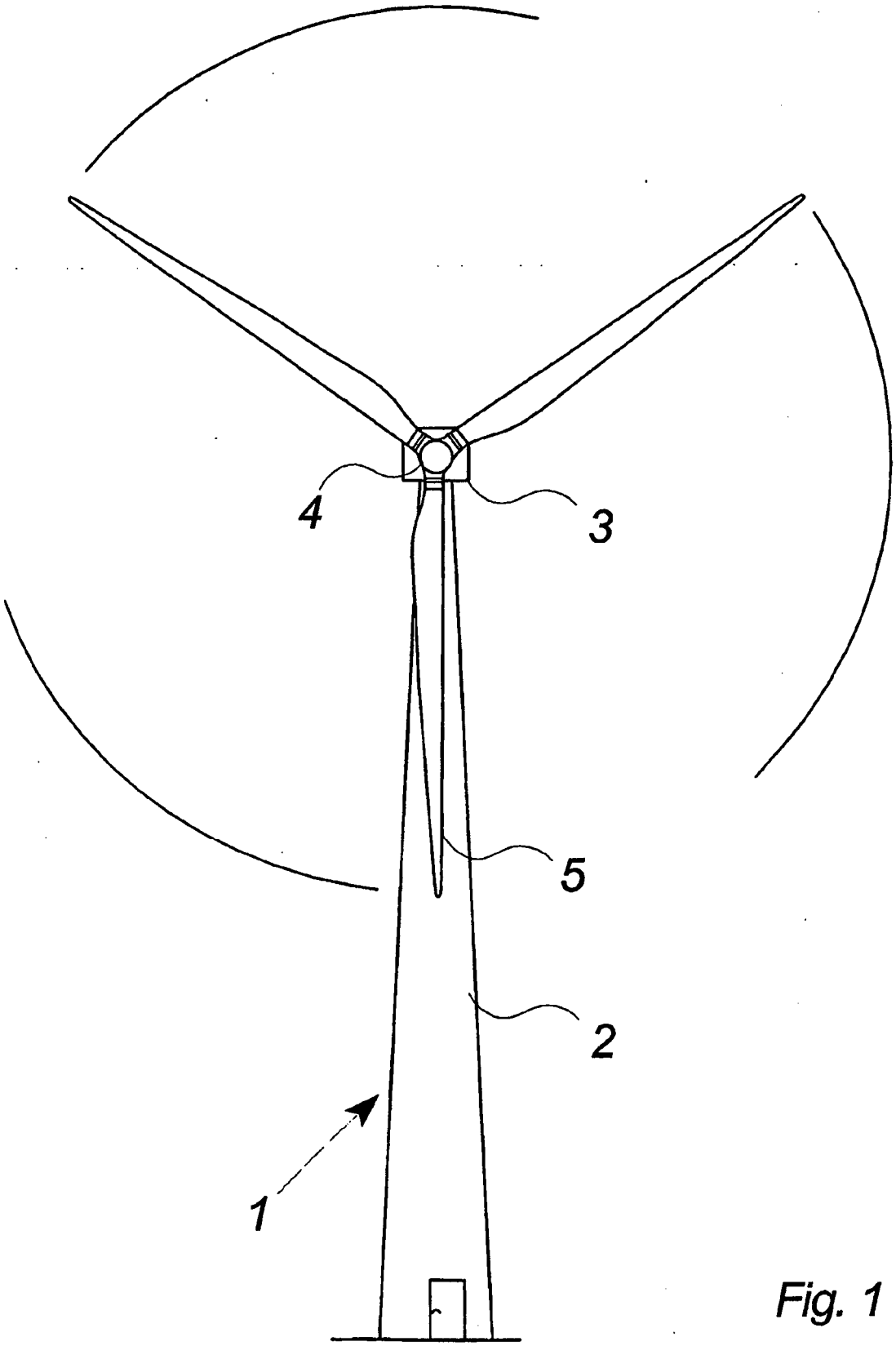

Fig. 1

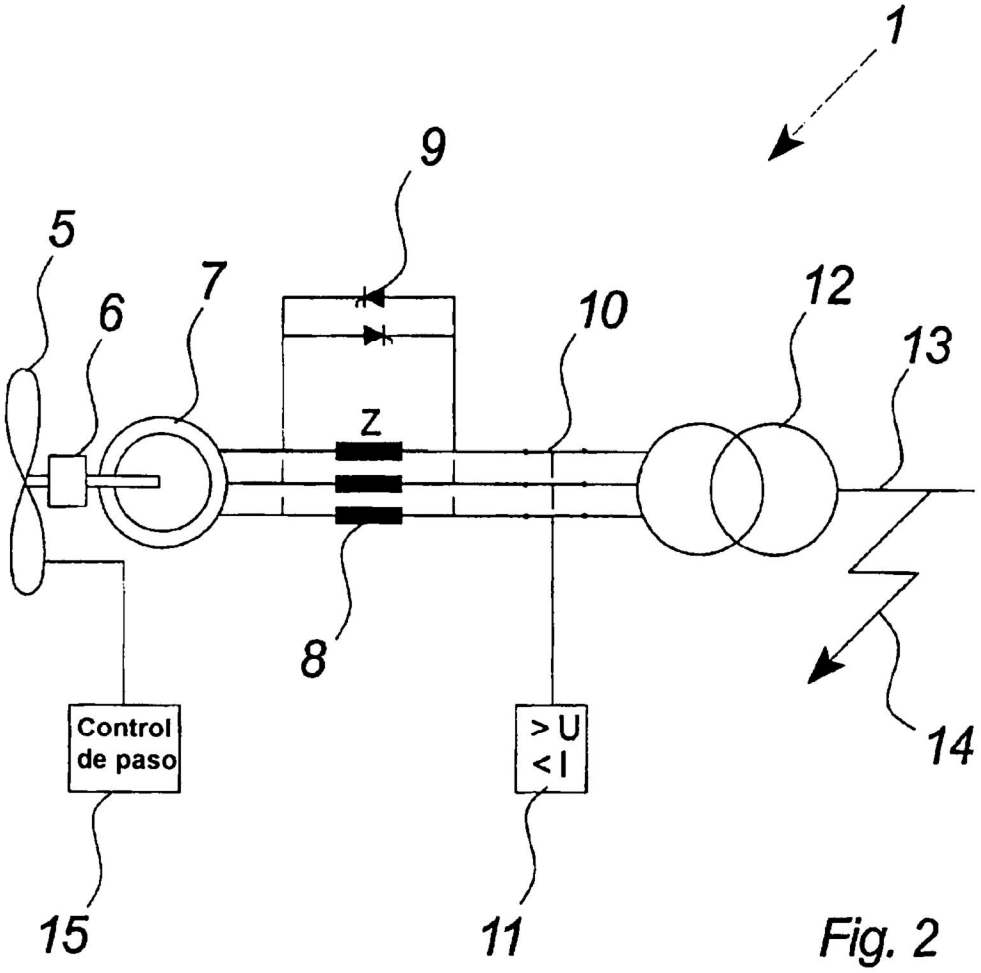

Fig. 2

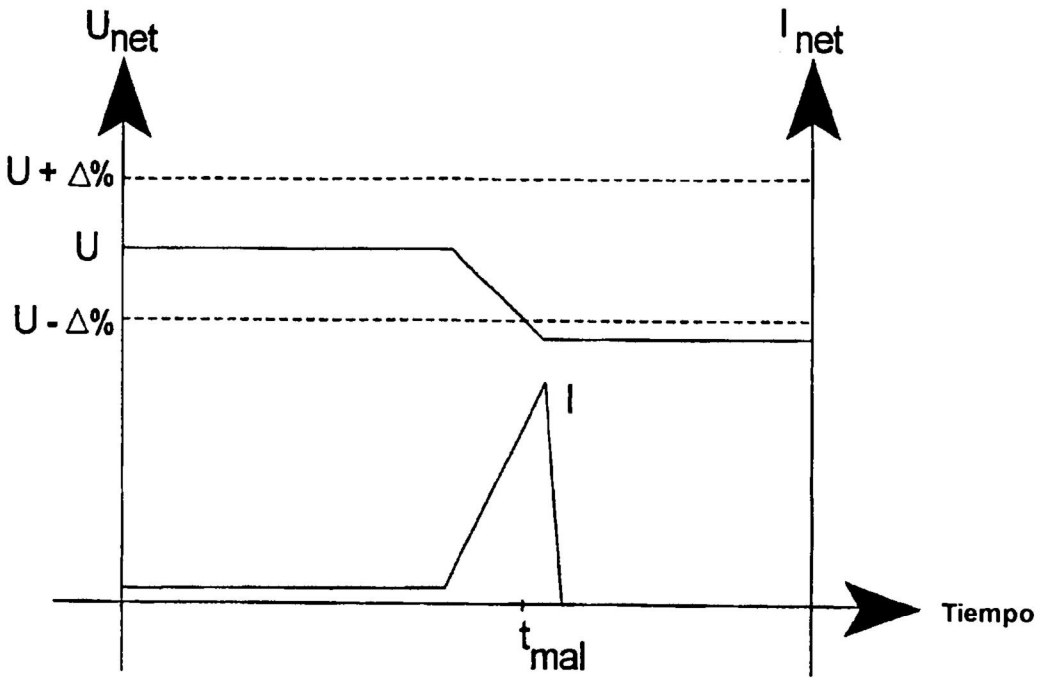

Fig. 3

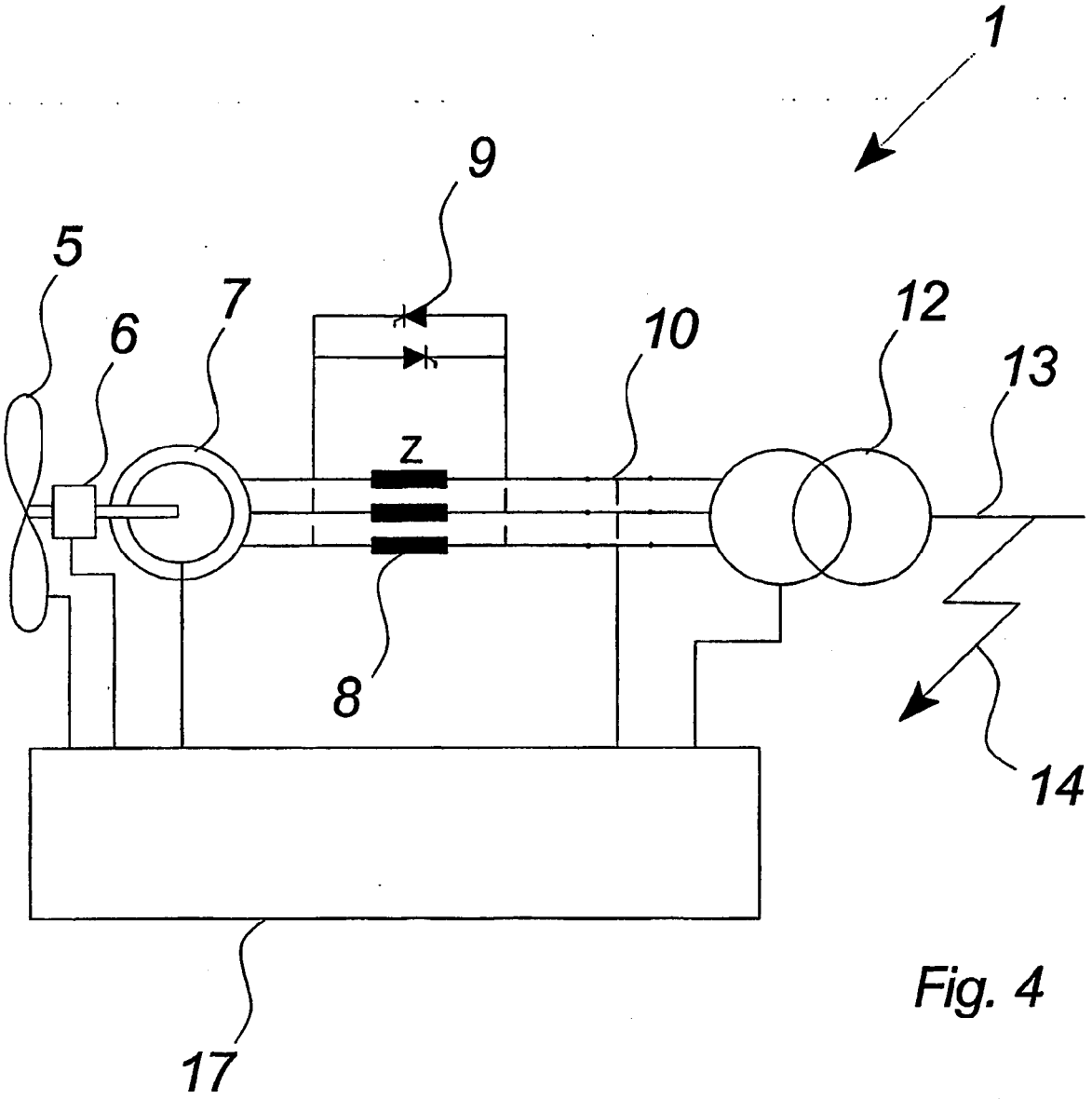

Fig. 4

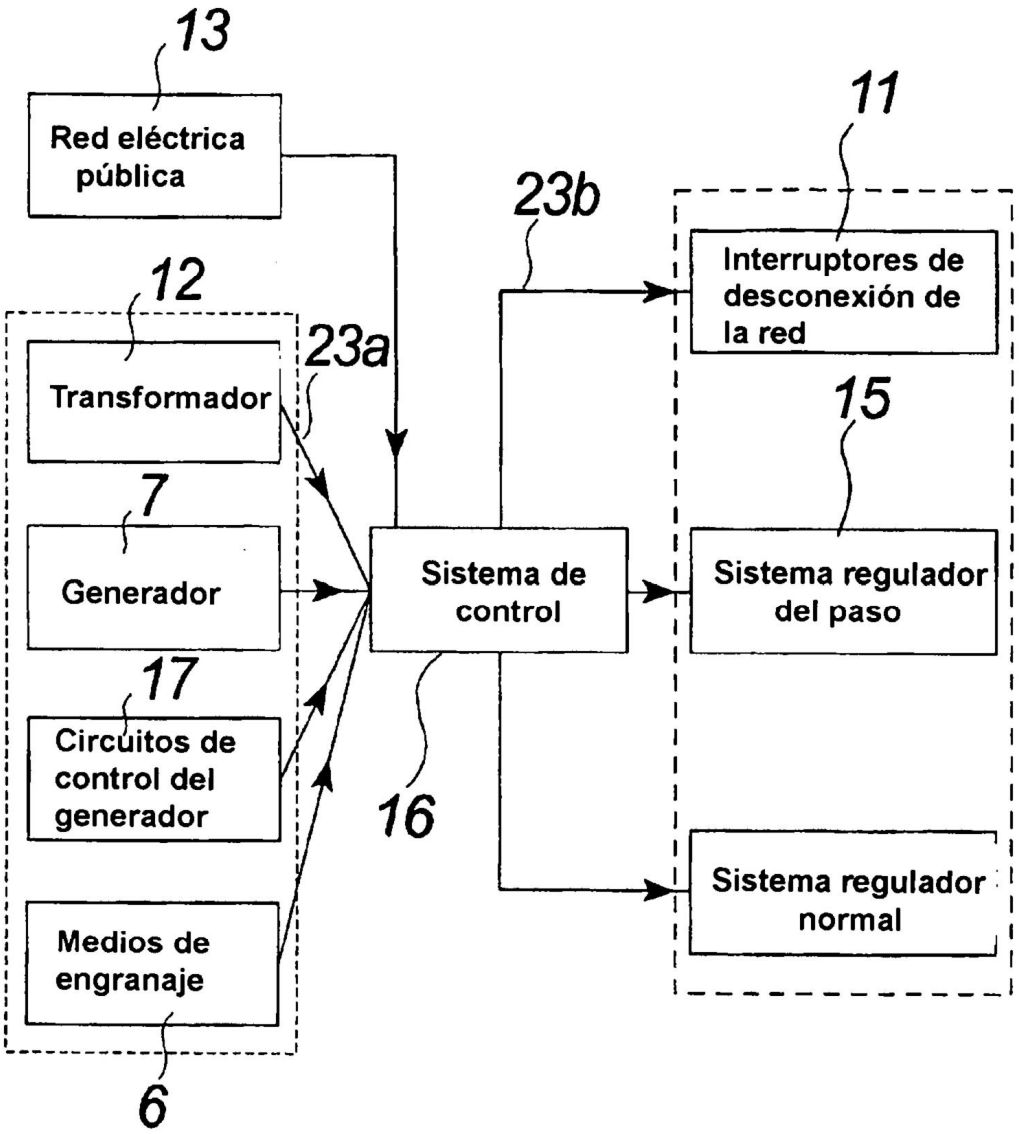
13
Red eléctrica pública
11
23b
Interruptores de desconexión de la red
12
23a
Transformador
15
7
Generador
Sistema de control
Sistema regulador del paso
17
Circuitos de control del generador
16
Sistema regulador normal
Medios de engranaje
6

Fig. 5

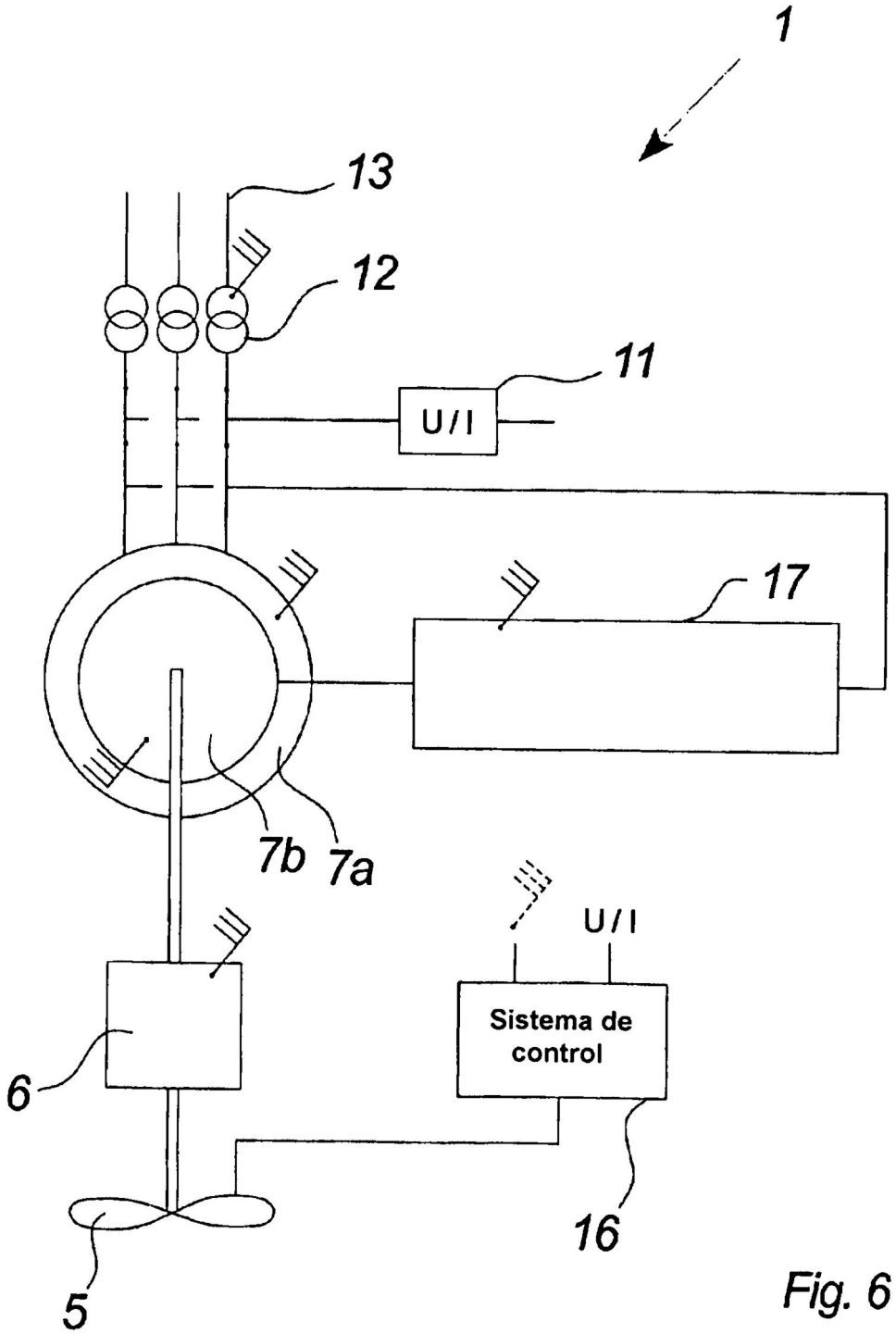

Fig. 6

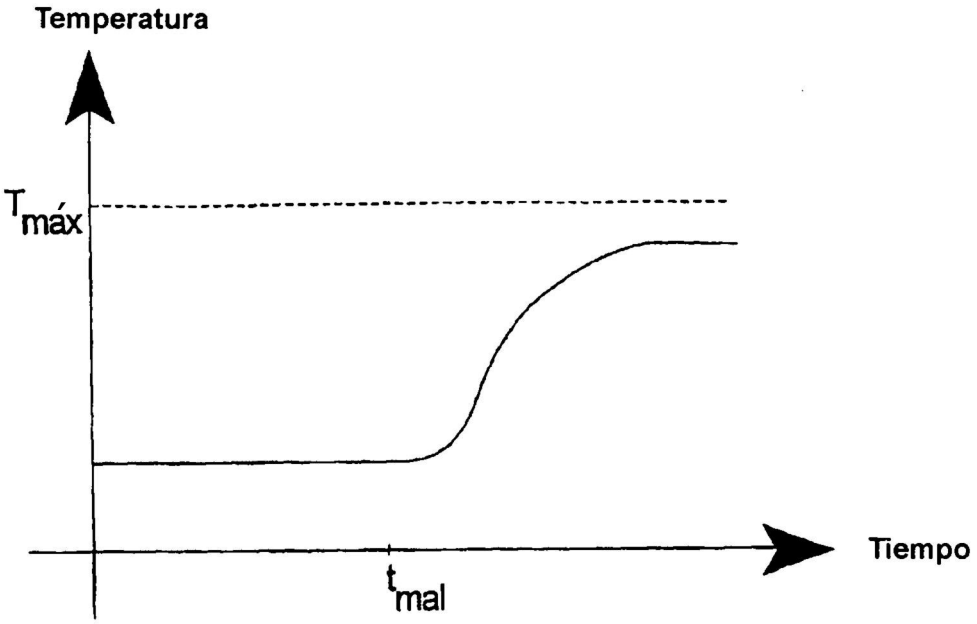

Fig. 7a

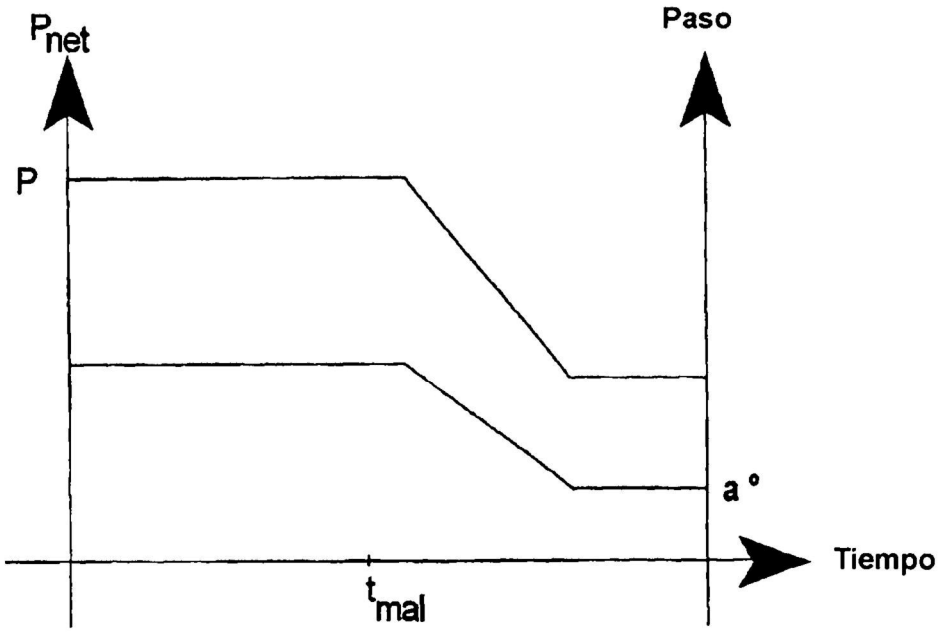

Fig. 7b

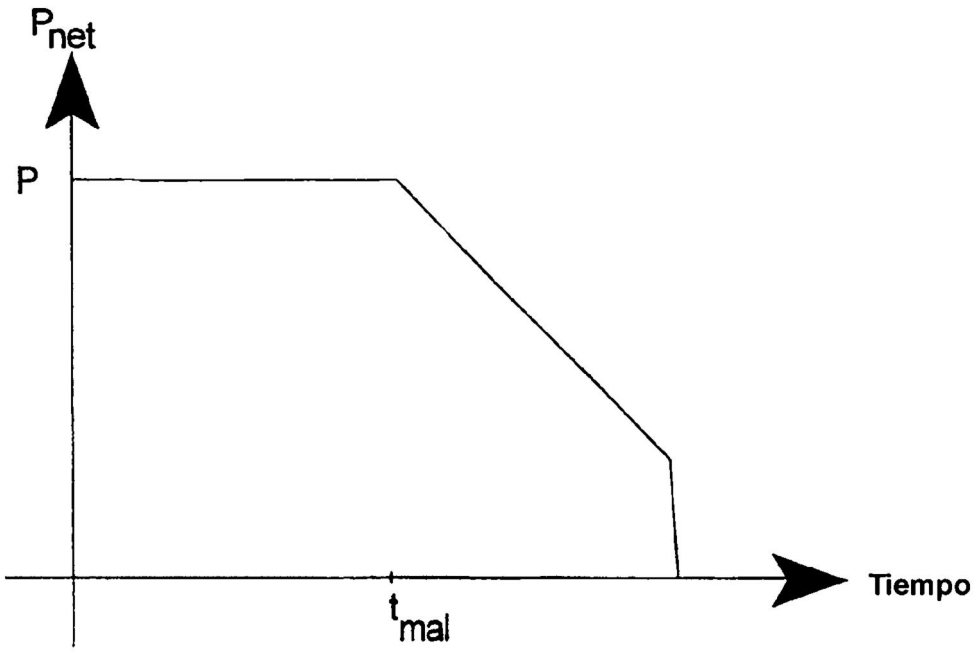

Fig. 7c

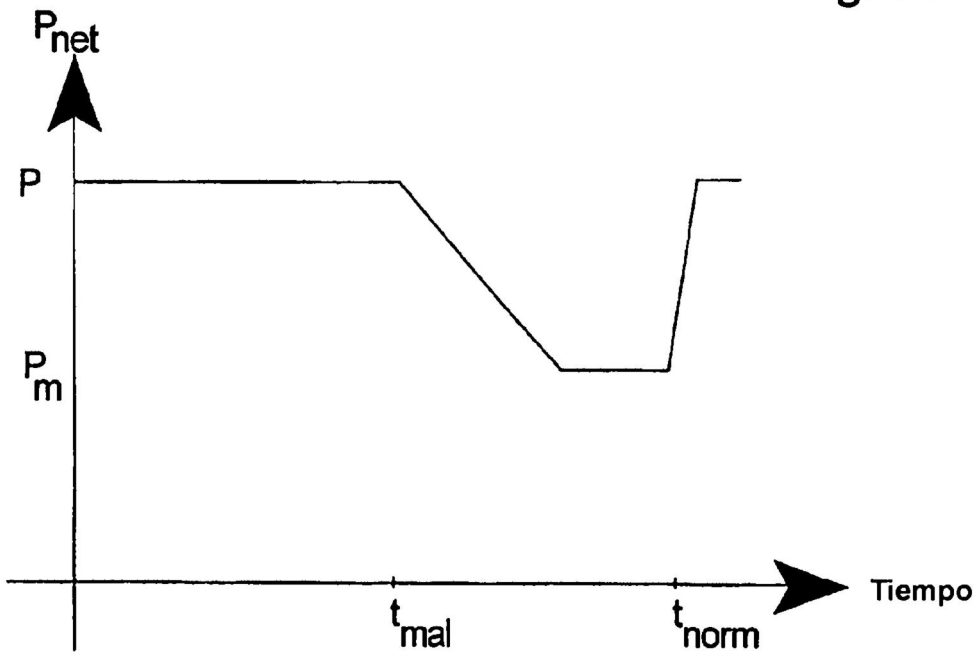

Fig. 7d

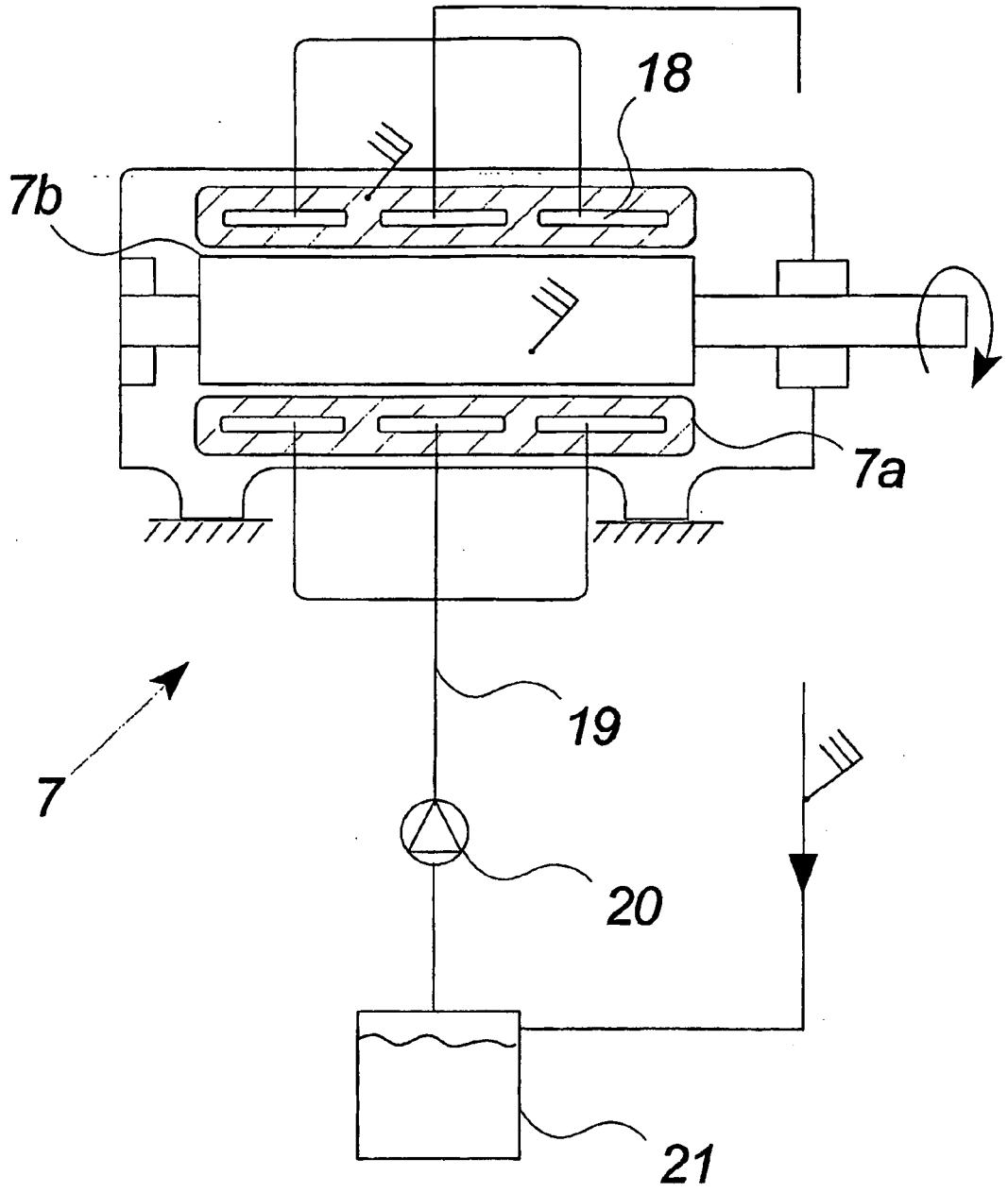

Fig. 8

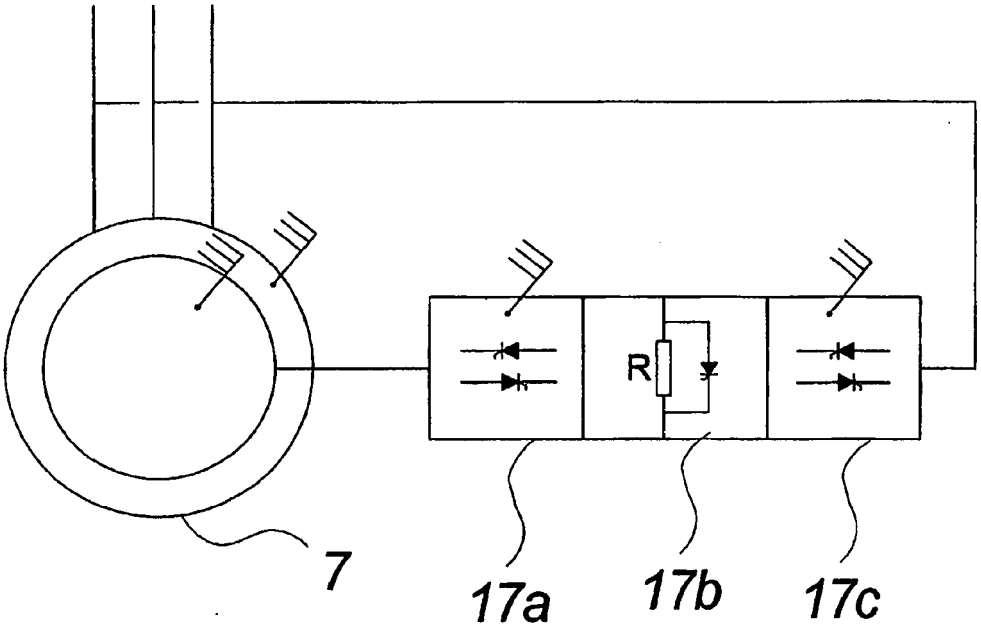

Fig. 9

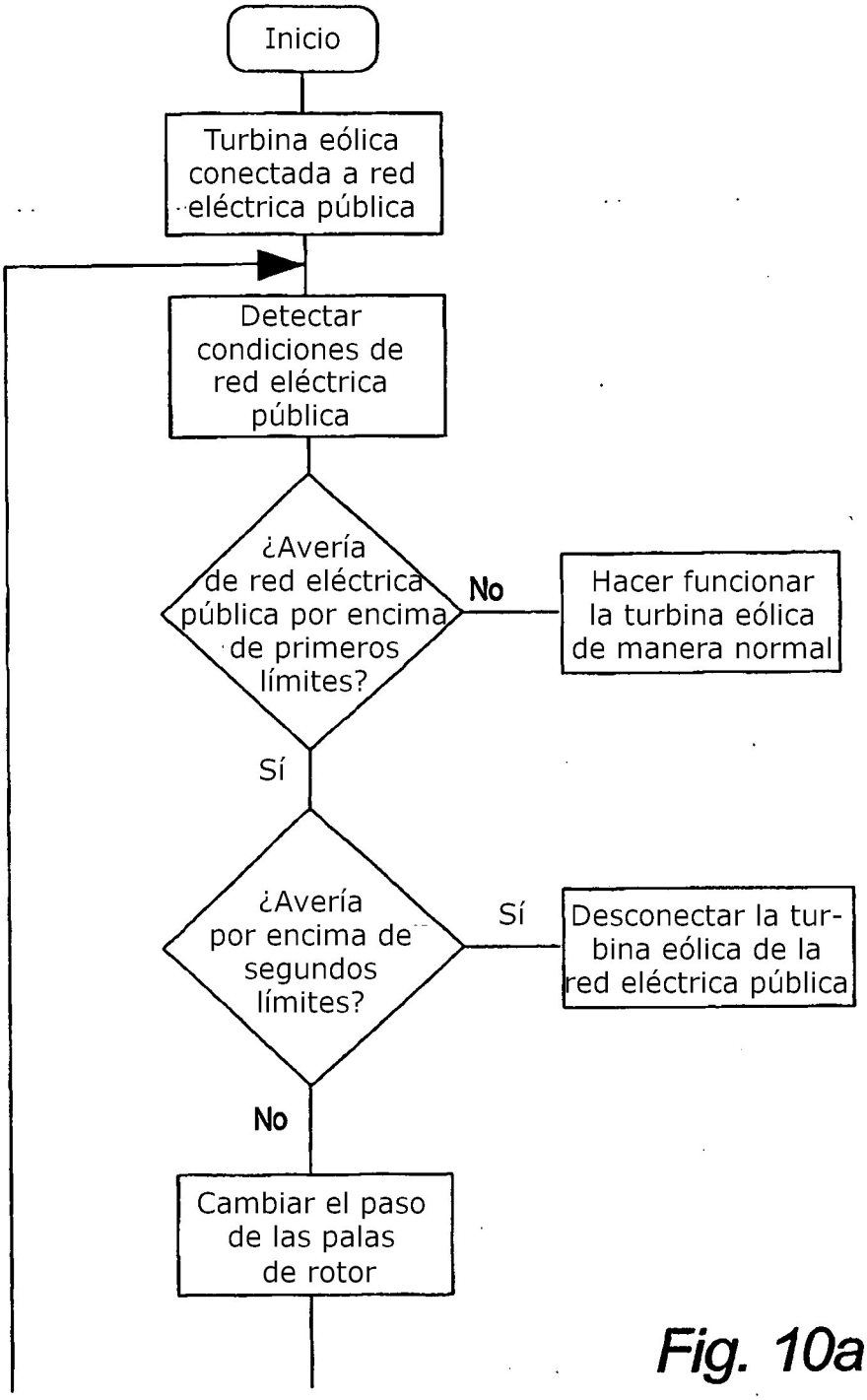
Inicio
Turbina eólica conectada a red eléctrica pública
Detectar condiciones de red eléctrica pública
¿Avería de red eléctrica pública por encima de primeros límites?
No
Hacer funcionar la turbina eólica de manera normal
Sí
¿Avería por encima de segundos límites?
Sí
Desconectar la turbina eólica de la red eléctrica pública
No
Cambiar el paso de las palas de rotor

Fig. 10a

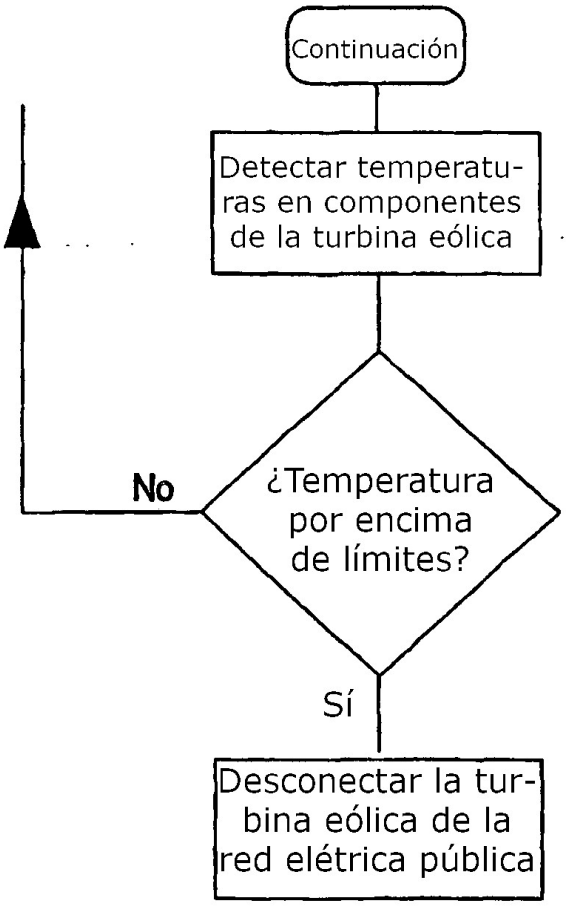
Continuación
Detectar temperaturas en componentes de la turbina eólica
¿Temperatura por encima de límites?
No
Sí
Desconectar la turbina eólica de la red elétrica pública

Fig. 10b

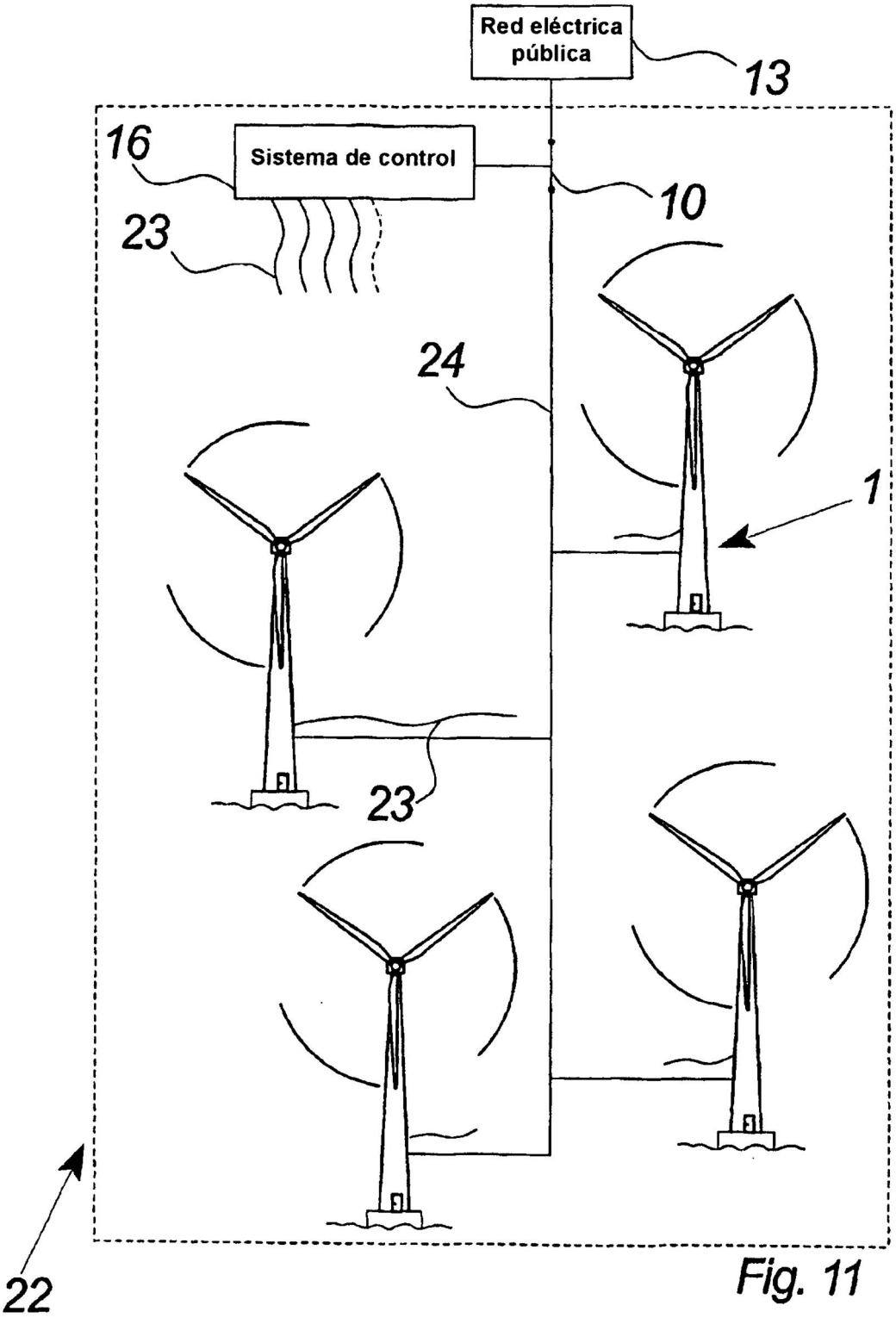
Red eléctrica pública
13
16
Sistema de control
10
23
24
1
23
22

Fig. 11