

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 596 437**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2013** **E 13161084 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016** **EP 2680390**

54 Título: **Procedimiento para la regulación de corriente**

30 Prioridad:

25.06.2012 DE 102012012401

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

09.01.2017

73 Titular/es:

RWE INNOGY GMBH (100.0%)

Gildehof 1

45127 Essen, DE

72 Inventor/es:

FELTES, DR. CHRISTIAN;

RUNGE, DR. JÖRN y

KOCH, DR. FRIEDRICH

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 596 437 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la regulación de corriente

5 El invento se refiere a un procedimiento para la regulación de la corriente de un sistema offshore de energía eólica, en el que el sistema offshore de energía eólica posee al menos un cable submarino. El invento se refiere, además a un sistema offshore de energía eólica.

La demanda de energía de fuentes renovables aumenta continuamente. Uno de los recursos disponibles es en este caso la energía eólica. Una instalación de energía eólica transforma la energía cinética del viento por medio de un rotor y de un generador en energía eléctrica.

10 Para maximizar el rendimiento energético se puede formar con varias instalaciones de energía eólica un sistema de energía eólica. Las instalaciones de energía eólica pueden ser montadas en especial en zonas con una gran probabilidad e intensidad de viento. Especialmente apropiados son los emplazamientos en mar abierto, respectivamente el mar, conocidas también como zonas offshore.

15 El funcionamiento de un sistema offshore de energía eólica con una pluralidad de instalaciones de energía eólica y una subestación y el acoplamiento con la red de orden superior es, debido fundamentalmente a los emplazamientos offshore, más problemático que el funcionamiento de un sistema de energía eólica onshore, respectivamente su acoplamiento con la red de orden superior. Las instalaciones de energía eólica están unidas entre sí y con la subestación por medio de cables submarinos. En el caso de un cable submarino se trata en especial de un cable submarino de media tensión o de un cable submarino de alta tensión.

Un cable submarino de esta clase está configurado para el transporte de energía.

20 Generalmente, un sistema offshore de energía eólica, en especial la subestación, está conectado por medio de al menos un cable submarino con la red eléctrica pública, respectivamente con una estación de cabeza, como por ejemplo una estación de transporte de corriente continua en alta tensión (estación HGÜ).

25 Un cable submarino de esta clase está enterrado generalmente en el fondo marino a una determinada profundidad. Para el funcionamiento de un cable submarino de esta clase existen determinadas condiciones de protección del medio ambiente. Una de estas condiciones de protección del medio ambiente el criterio 2K a cumplir. El criterio 2K exige, que el aumento de temperatura en el fondo marino (por encima) del cable submarino no debe rebasar 2 Kelvin en una profundidad de 0,2 a 0,3 m. Los cables submarinos utilizados en el estado de la técnica están generalmente sobredimensionados de manera manifiesta, de manera, que no se alcanza este aumento de la temperatura en el funcionamiento normal del sistema offshore de energía eólica. Con otras palabras, la corriente, que fluye a través de un cable submarino no da lugar a un calentamiento superior a 2 Kelvin del fondo marino. Por ejemplo en el caso de un corte de un cable submarino pueden surgir problemas, cuando un cable submarino tendido paralelamente debe transportar toda la corriente.

35 Así por ejemplo, un sistema offshore de energía eólica, en especial una instalación de energía eólica offshore puede estar conectado a través de dos cables submarinos con una estación HGÜ onshore. Si falla uno de estos cables submarinos, por ejemplo debido a un transformador defectuoso o de una avería en el cable, es generalmente necesario reducir la corriente, que fluía anteriormente por los dos cables submarinos para cumplir el criterio de temperatura. Además no se debería rebasar la corriente nominal del cable submarino.

40 A través del estado de la técnica se conoce, para el cumplimiento del criterio 2K en el caso de un fallo de un cable submarino la potencia, que se puede transportar a través del otro cable submarino, respectivamente limitar de una manera general la corriente máxima al 50 % de la potencia del sistema offshore de energía eólica, respectivamente de la corriente máxima.

Generalmente el servidor de la red prescribe el correspondiente procedimiento.

45 Sin embargo, el inconveniente es que la capacidad de transporte del cable submarino (todavía) capaz de funcionar no es aprovechada al máximo. Si bien se cumple así con seguridad el criterio 2K, no se transporta al mismo tiempo a través del cable submarino la potencia máxima posible, respectivamente la corriente máxima admisible.

50 A través del documento "Kabeldimensionierung bei der Netzanbindung von Offshore-Windparks unter Berücksichtigung der zeitlichen Leistungsabgabe" (Dimensionado de los cables en el conexionado con la red de parques eólicos offshore teniendo en cuenta el transporte de potencia en función del tiempo) (DEWI Magazin N° 24, febrero 2004, 1 de febrero de 2004 (01-02-2004), páginas 38-43) se conoce el dimensionado de un cable submarino antes del tendido del cable. El artículo "Thermal Analysis of Submarine Cable Routes": LSM or FEM" (POWER AND ENERGY CONFERENCE, 2006. PECON'06. IEEE INTERNATIONAL, IEEE, PI, 1 de noviembre 2006 (01-11-2006), páginas 560 a 565) divulga análisis térmicos de cables submarinos. Además, el documento DE 28 36 308 A1 se refiere a un transporte de corriente continua y a una regulación del transporte de corriente continua. El estado de la técnica es, además, conocido a través de los documentos EP 2 636 894 A2, WO 01/26201 A1 y DE 198 42 076 A1.

El invento se basa por ello en el problema de crear un procedimiento para la regulación de la corriente de un sistema offshore de energía eólica en el que, cumpliendo un criterio de temperatura, en especial el criterio 2K, se pueda incrementar la potencia, que se puede transportar a través de al menos un cable submarino.

5 El problema se soluciona según el invento con un procedimiento según la reivindicación 1 para la regulación de la corriente de un sistema offshore de energía eólica. El procedimiento para la regulación de la corriente de un sistema offshore de energía eólica en el que el sistema offshore de energía eólica posee al menos cable submarino comprende los siguientes pasos:

- medición de la corriente aplicada en un punto de entrada del cable submarino,
- determinación de la corriente máxima admisible en función del tiempo para el cable submarino en función de un valor prefijado de un parámetro de temperatura en un punto de referencia, que se halle a una determinada profundidad en fondo marino,
- regulación de la corriente aplicada al cable submarino de tal modo, que la corriente aplicada no supere la corriente admisible máxima determinada.

15 Contrariamente al estado de la técnica se regula según el invento la corriente transportada por el al menos un cable submarino de tal modo, que no se rebase una corriente máxima dependiente de un criterio de temperatura a cumplir. Con la determinación de la corriente máxima admisible se puede transportar, además, a través del al menos un cable submarino la cantidad de corriente máxima admisible. Con otras palabras: el al menos un cable submarino puede ser aprovechado mejor.

20 El presente procedimiento para la regulación de la corriente se presta en especial para el funcionamiento de un sistema offshore de energía eólica. El sistema offshore de energía eólica comprende al menos un cable submarino. Además, el sistema offshore de energía eólica puede poseer al menos una instalación de energía eólica conectada eléctricamente con al menos una subestación. La subestación puede estar conectada eléctricamente con una estación onshore, como por ejemplo una estación HGÜ. La conexión eléctrica puede ser realizada en especial por medio de un cable submarino. Se comprende, que pueden ser previstas una pluralidad de instalaciones de energía eólica y/o una pluralidad de cables submarinos.

25 Para la regulación de la corriente, que circula a través del al menos un cable submarino se mide la corriente (actual) inyectada en el cable submarino en un punto de alimentación. Por ejemplo se puede prever un dispositivo adecuado para la medición de la corriente. Este puede estar dispuesto con preferencia en una instalación de energía eólica, que inyecta la corriente en el cable submarino.

30 Además, en función de un criterio de temperatura prefijado, por ejemplo el criterio 2K, se determina la corriente máxima admisible, que puede circular a través del al menos un cable submarino sin lesionar el criterio de temperatura. Para el desarrollo de la temperatura en un punto de referencia en el fondo marino es responsable en especial la potencia perdida del cable submarino. La potencia perdida depende entre otros de la corriente inyectada.

35 Como ya se expuso, en el caso del valor prefijado del parámetro de temperatura se puede tratar de un valor límite, que no debe ser rebasado por arriba (o rebasado por abajo). Se puede determinar la corriente para la que se ajusta el valor prefijado del parámetro de temperatura. El punto de referencia se halla a una determinada distancia de la superficie del mar y puede ser por ejemplo de 0,2 m a 0,3 m.

40 Una vez, que se determinó la corriente máxima admisible variable con el tiempo máxima admisible se regula la corriente inyectada al menos en función de esta corriente. La corriente inyectada puede ser elegida con preferencia esencialmente igual que la corriente admisible máxima determinada. Una corriente máxima admisible y con ello una potencia máxima admisible pueden ser transportadas a través del cable submarino.

45 El procedimiento según el invento es ventajoso en especial en el caso de un fallo de al menos uno de dos cables submarinos para poder aprovechar al máximo el cable submarino, que permanece operativo. Además, el procedimiento puede ser utilizado ventajosamente en una ampliación de un sistema offshore de energía eólica para que, antes de la laboriosa sustitución de cables submarinos existentes con cables submarinos de más potencia se aprovechen en primer lugar mejor los cables submarinos existentes. El procedimiento también puede ser tenido en cuenta en la planificación de nuevos sistemas offshore de energía eólica para obtener secciones transversales menores de los cables o menos conexiones de cables o menores profundidades de los cables.

50 Es preciso hacer la observación de que en el presente caso se debe entender bajo el concepto "corriente" la "corriente aparente" y bajo el concepto "potencia" la "potencia aparente", si no se indica lo contrario.

55 De acuerdo con una primera forma de ejecución del procedimiento según el invento se puede ajustar para la regulación de la corriente inyectada al menos un valor nominal de generación de corriente de al menos una instalación de energía eólica de tal modo, que la corriente inyectada no rebase la corriente máxima admisible determinada. Así por ejemplo, un dispositivo de regulación de al menos una instalación de energía eólica puede predeterminar un valor nominal de generación de corriente, generando la instalación de energía eólica al menos una

parte de la corriente inyectada en el cable submarino. Con preferencia se puede determinar para cada instalación de energía eólica, cuya corriente circule a través del cable submarino un valor nominal de generación de corriente correspondiente. El valor nominal de generación de corriente puede ser determinado individualmente para cada instalación de energía eólica o puede ser el mismo para todas las instalaciones de energía eólica. En especial, el al menos un valor nominal de generación de corriente puede ser predeterminado de tal modo, que la corriente inyectada en el cable submarino equivalga esencialmente a la corriente máxima admisible. La corriente inyectada en el cable submarino puede ser regulada de manera sencilla.

Fundamentalmente es posible predeterminar diferentes parámetros de temperatura. De acuerdo con otra forma de ejecución del invento el parámetro de temperatura es con preferencia un aumento máximo admisible de la temperatura. El valor máximo admisible del aumento de temperatura puede ser, para cumplir el criterio 2K, en especial de 2 Kelvin. De una manera sencilla y segura es posible cumplir (siempre) el criterio 2K. Se comprende, que también cabe imaginar otros valores de aumento de la temperatura, por ejemplo como consecuencia de modificaciones legales de las condiciones de medio ambiente.

Para determinar de una manera especialmente sencilla y con poco tiempo de cálculo de una instalación de procesamiento de datos una corriente máxima admisible se podría proponer un planteamiento estacionario, es decir un método independiente del tiempo. El parámetro de temperatura máximo o admisible podría ser un parámetro de temperatura estacionario. La corriente máxima admisible podría ser independiente del tiempo. Con otras palabras: la corriente inyectada en el cable submarino se regula hasta un valor constante de la corriente. Además, de acuerdo con otra forma de ejecución del procedimiento según el invento se puede determinar la corriente máxima admisible en función de la resistencia del cable submarino y/o de la distancia del cable submarino al punto de referencia y/o de la distancia del cable submarino reflejado en la superficie del mar al punto de referencia y/o de la conductividad térmica del fondo marino. En especial sería posible determinar la corriente máxima admisible no variable con el tiempo en función de todos los parámetros. Con preferencia se puede implementar un procedimiento de cálculo por ejemplo en un dispositivo computador adecuado. El dispositivo computador, por ejemplo un dispositivo de pronóstico, puede estar preparado para calcular la corriente máxima admisible por medio de estos parámetros y del valor del parámetro de temperatura con el procedimiento de cálculo. Es posible una determinación próxima en el tiempo y exacta de la corriente máxima admisible.

Para un aprovechamiento todavía mejor de los recursos existentes se aplica un método dinámico. De acuerdo con una forma de ejecución preferida del procedimiento según el invento, el parámetro de temperatura máximo admisible puede ser un parámetro de temperatura dependiente del tiempo y la corriente máxima admisible determinada puede ser dependiente del tiempo. Determinando una corriente máxima admisible dependiente del tiempo es posible tener en cuenta, respectivamente aprovechar las fluctuaciones de la generación de energía, que se producen durante el funcionamiento de un sistema offshore de energía eólica, debidas por ejemplo a variaciones de la intensidad del viento. En especial, se comprobó, que la variación de la temperatura en el fondo marino tiene lugar con un retardo de horas hasta días. Por ello puede circular en primer lugar a través del cable submarino durante un tiempo determinado una corriente más alta que en el caso de un análisis estacionario, cuando a continuación circula por el cable submarino una corriente menor con relación al análisis estacionario debido, por ejemplo a una menor intensidad del viento. En especial, durante un primer intervalo de tiempo se puede inyectar en el cable de alta tensión una corriente mayor que la corriente en un segundo intervalo de tiempo siguiente. La cantidad de corriente, que se puede transportar puede ser incrementada adicionalmente, cuando, por ejemplo, con el segundo intervalo de tiempo coincide una fase con una menor intensidad del viento.

Para determinar en el caso de un método dinámico la corriente máxima admisible dependiente del tiempo se propone según otra forma de ejecución del procedimiento según el invento, que en el caso de una variación de la corriente inyectada se determine nuevamente la corriente máxima admisible. El resultado de la nueva determinación puede ser superpuesto al menos al resultado de la determinación anterior. Para la determinación de la corriente máxima admisible se pueden calcular de manera continua o con determinados intervalos de tiempo con preferencia las variaciones actuales y futuras de la temperatura en el punto de referencia en función de la superposición de la corriente actual y de la corriente inyectada en el pasado. De acuerdo con otra forma de ejecución se puede determinar la corriente máxima admisible en función de la resistencia del cable submarino y/o de la distancia del cable submarino al punto de referencia y/o de la distancia del cable submarino reflejado en la superficie del mar al punto de referencia y/o de la conductividad térmica del fondo marino y/o del coeficiente de difusión térmica del fondo marino. En especial se puede determinar una corriente máxima admisible variable en el tiempo en función de todos los parámetros. Con preferencia se puede implementar un procedimiento de cálculo en, por ejemplo, un dispositivo computador adecuado. El dispositivo computador, por ejemplo un dispositivo de pronóstico, puede estar preparado para calcular la corriente máxima admisible por medio de estos parámetros y del valor del parámetro de temperatura por medio del programa de cálculo. Es posible una determinación próxima en el tiempo y exacta de la corriente máxima admisible.

Otro aspecto del presente invento es un sistema offshore de energía eólica según la reivindicación 9. El sistema offshore de energía eólica comprende al menos un cable submarino. El sistema offshore de energía eólica comprende al menos un dispositivo de medición de la corriente preparado para medir una corriente inyectada en un punto de inyección del cable submarino. El sistema offshore de energía eólica posee un dispositivo de pronóstico. El dispositivo de pronóstico está preparado para la determinación de una corriente máxima admisible para el cable

submarino en función de un valor prefijado de un parámetro de temperatura en un punto de referencia, que se halla a una profundidad prefijada del fondo marino. El sistema offshore de energía eólica posee un dispositivo de regulación. El dispositivo de regulación está preparado para regular la corriente inyectada en el cable submarino, de tal modo, que la corriente inyectada no rebasa la corriente máxima admisible determinada.

5 El procedimiento descrito anteriormente puede ser utilizado en especial para la regulación de la corriente en el sistema offshore de energía eólica según el invento. Contrariamente al estado de la técnica se regula según el invento la corriente a transportar a través del al menos un cable submarino de tal modo, que no se rebasa una corriente máxima dependiente de un criterio de temperatura. Con la determinación de la corriente máxima admisible se puede transportar, además, la cantidad de corriente máxima admisible a través del al menos un cable submarino.

10 El sistema offshore de energía eólica puede poseer, además del al menos un cable submarino, una instalación de energía eólica y al menos una subestación. La subestación puede estar conectada por medio de al menos un cable submarino, con preferencia con al menos dos cables submarinos, con una estación de cabeza onshore. En el caso del dispositivo de pronóstico se puede tratar en especial de un dispositivo computador, como una computadora o análogo. El dispositivo de pronóstico y el dispositivo de regulación pueden estar dispuestos en una posición cualquiera dentro del sistema offshore de energía eólica, como una central y/o una subestación y/o una instalación de energía eólica. El dispositivo de registro de la corriente, con preferencia un dispositivo de medición de la corriente, puede estar dispuesto con preferencia en la proximidad del punto de inyección del cable submarino para medir la corriente (actual) inyectada.

20 El dispositivo de pronóstico puede estar preparado para que con la ayuda del aumento de temperatura calculable para el futuro se pueda evitar, respectivamente minimizar que se rebasa el aumento máximo de la temperatura.

Fundamentalmente se pueden utilizar como dispositivo de regulación diferentes reguladores. De acuerdo con una forma de ejecución preferida del sistema offshore de energía eólica según el invento, el dispositivo de regulación puede ser un regulador PI. Un regulador PI puede ser utilizado de manera sencilla en especial en un método dinámico con un retardo en el tiempo de horas a días del aumento de la temperatura.

25 Las características de los procedimientos y de los dispositivos pueden ser combinadas libremente entre sí. En especial, las características de la descripción y/o de las reivindicaciones subordinadas, incluso con menosprecio completo o parcial de las características de las reivindicaciones independientes, pueden ser innovadoras por sí mismas individualmente o libremente combinadas entre sí.

30 Existe una gran cantidad de posibilidades para configurar y perfeccionar el procedimiento según el invento para la regulación de la corriente y el sistema offshore de energía eólica según el invento. Para ello se remite, por un lado, a las reivindicaciones subordinadas de las reivindicaciones independientes y, por otro, a la descripción de ejemplos de ejecución relacionados con el dibujo. En el dibujo muestran:

La figura 1, una vista esquemática de un ejemplo de ejecución de un sistema offshore de energía eólica según el presente invento.

35 La figura 2, una vista esquemática de un diagrama de flujo de un ejemplo de ejecución de un procedimiento según el invento.

La figura 3, una vista esquemática de un cable submarino dispuesto en el fondo marino de un sistema offshore de energía eólica según el presente invento.

En lo que sigue se utilizan los mismos símbolos de referencia para elementos iguales.

40 La figura 1 muestra una vista esquemática de un ejemplo de ejecución de una instalación 2 offshore de energía eólica según el presente invento.

45 La instalación 2 offshore de energía eólica comprende una subestación 6, como una subestación 6 transformadora. Además, está dispuesta una pluralidad de instalaciones 4 offshore de energía eólica para transformar la energía del viento en energía eléctrica. Las instalaciones 4 de energía eólica y la subestación 6 están conectadas entre sí eléctricamente por medio de una pluralidad de cables 8 submarinos. Un cable 8 submarino está preparado en especial para transportar la energía eléctrica generada por una instalación 4 de energía eólica a la instalación 4 de energía eólica siguiente, respectivamente a la subestación 6.

50 En el presente ejemplo de ejecución está conectada en serie una pluralidad de instalaciones 4 de energía eólica en varios circuitos 12, respectivamente "strings" 12. Por ejemplo se pueden prever ocho circuitos con seis instalaciones de energía eólica cada uno.

En el presente caso se representan únicamente para una mayor claridad dos circuitos 12 con tres instalaciones 4 de energía eólica cada uno. Un extremo de un circuito 12 está conectado eléctricamente a través de un cable 8 submarino con la subestación 6. Los otros dos extremos pueden ser conectados entre sí por medio de un cable submarino adicional (no representado). Además, se puede prever, que un circuito pueda ser conectado

opcionalmente con otros circuitos. Se comprende, que de acuerdo con otras variantes del invento las instalaciones de energía eólica también pueden estar dispuestas en estructuras de anillo.

5 Además de los dispositivos de transformación (no representados), como por ejemplo transformadores, posee la subestación 6 un dispositivo 18 de registro de la corriente, un dispositivo 20 de pronóstico y un dispositivo 22 de regulación.

El dispositivo 18 de registro de la corriente puede comprender uno o varios sensores de corriente para medir la corriente, que se inyecta en uno o en varios cables 10 submarinos. El al menos un valor de corriente medido puede ser puesto a disposición del dispositivo 20 de pronóstico y/o del dispositivo 22 de regulación.

10 El dispositivo 20 de pronóstico puede ser por ejemplo una unidad 20 de cálculo. Por ejemplo se puede prever una computadora o un dispositivo análogo. El dispositivo 20 de pronóstico está preparado para determinar una corriente máxima admisible, que puede ser inyectada en un cable 10 submarino. El dispositivo 20 de diagnóstico determina en este caso la corriente máxima admisible en función de un criterio prefijado de aumento de la temperatura, como por ejemplo del criterio 2K. Se puede evitar el aumento futuro de la variación de la temperatura por encima de dos Kelvin.

15 El dispositivo 22 de regulación está preparado para regular la corriente inyectada en el al menos un cable 10 submarino de tal modo, que esta no rebase la corriente máxima admisible. El dispositivo 22 de regulación puede estar preparado por ejemplo para predeterminar al menos un valor nominal de generación de corriente para al menos una instalación 4 de energía eólica. El dispositivo 22 de regulación puede ser con preferencia un dispositivo 22 central de regulación para prefijar el correspondiente valor nominal de generación de corriente al menos para 20 todas las instalaciones 4 de energía eólica conectadas con la subestación 6. El valor nominal de generación de corriente predetermina para la instalación 4 de energía eólica correspondiente la corriente a generar. Este puede ser en un caso sencillo la corriente máxima posible. También puede suceder, que se determine un determinado valor nominal de generación de corriente a causa de exigencias externas preestablecidas por un servidor público. Además, es posible prefijar un determinado valor nominal de generación de corriente para el cumplimiento de un 25 criterio de temperatura, como por ejemplo el criterio 2K, como se explicará en lo que sigue.

30 Para la comunicación con las instalaciones 4 de energía eólica se prevé una red 24 de comunicación, que puede ser configurada de manera inalámbrica y/o vía cable. Al menos los valores nominales de generación de corriente pueden ser transmitidos a través de la red 24 de comunicación desde el dispositivo 22 de regulación a las instalaciones 4 de energía eólica. Se comprende, que la red 24 de comunicaciones también puede ser aprovechada para otras aplicaciones.

35 Los cables 10 submarinos, en el presenta caso se representan dos cables 10 submarinos, están preparados para transportar la corriente generada por el sistema 2 offshore de energía eólica a una estación 14 de cabeza, como por ejemplo una estación 14 HGÜ de cabeza. La estación 14 HGÜ de cabeza puede estar dispuesta en especial en tierra para transferir la corriente generada a una red 16 pública. La estación 14 HGÜ de cabeza puede poseer para ello otras instalaciones transformadoras (no representadas).

40 El funcionamiento del sistema 2 offshore de energía eólica se describirá en lo que sigue por medio de las figuras 2 y 3. La figura 2 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de ejecución de un procedimiento para la regulación de la corriente en el sistema 2 offshore de energía eólica. Este procedimiento se contempla en lo que sigue a título de ejemplo para el caso de que uno de los cables 10 submarinos ya no esté disponible para el transporte de corriente, pero no está limitado a el.

45 A título de ejemplo se mencionan como campos adicionales de aplicación la planificación de un nuevo sistemas offshore de energía eólica. Cuando se amplía un sistema offshore de energía eólica se puede utilizar, para un mejor aprovechamiento de los recursos existentes, el presente procedimiento igual que por ejemplo en la planificación de un nuevo sistema offshore de energía eólica para obtener secciones transversales más pequeñas de los cables y/o una menor cantidad de conexiones con cables y/o una menor profundidad de los cables.

En un primer paso 201 se registra con un dispositivo de vigilancia adecuado el fallo de uno de los dos cables 10 submarinos. Por ejemplo puede estar averiado el cable 10 submarino o un dispositivo conectado con el cable submarino, como un transformador. Entonces ya sólo se dispone durante un determinado intervalo de tiempo de un cable 10 submarino para el transporte de corriente.

50 La consecuencia de un fallo de un cable 10 submarino es (generalmente), que la totalidad de la potencia máxima, que puede ser generada por todas las instalaciones 4 de energía eólica (ya) no puede/debe transportar a través del cable 10 submarino remanente.

55 Una razón para ello es el conocido criterio 2K. El criterio 2K exige, que el aumento de la temperatura en el fondo marino por encima del cable 10 submarino a una profundidad de 0,2 m, respectivamente 0,3 m no debe rebasar los 2 Kelvin. El aumento de la temperatura de un cable 10 submarino depende fundamentalmente de la potencia perdida en el cable 10 submarino. La potencia perdida depende entre otros de la corriente inyectada. En el fallo de un cable 10 submarino es por ello necesaria una regulación de la corriente inyectada para cumplir el criterio de temperatura.

En el paso 202 siguiente se puede registrar la corriente (actual) inyectada en el cable 10 submarino. El dispositivo de registro de la corriente puede medir por ejemplo la corriente. La corriente medida puede ser puesta al menos a disposición del dispositivo 22 de regulación.

5 En un paso 203 adicional, que con preferencia puede ser ejecutado en paralelo con el paso 202, se puede determinar la corriente máxima admisible, que puede ser inyectada en el cable 10 submarino cumpliendo el criterio 2K.

En un primer método estacionario se puede implementar en el dispositivo 20 de cálculo el siguiente procedimiento de cálculo:

$$\Delta \vartheta(x, y) = \frac{P'}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{s'}{s}, \quad (a)$$

10 en el que $\Delta \vartheta(x, y)$ es el aumento de temperatura, P' la potencia perdida por metro, λ la conductividad térmica del fondo marino, s la distancia del cable 10 submarino al punto de referencia de la medición en una profundidad de 0,2 m de la superficie del fondo marino y s' la distancia a este punto de referencia de un cable submarino reflejado en el fondo marino.

15 Para la explicación de los parámetros del procedimiento (a) de cálculo se representa en la figura 3 un cable 10 submarino en el fondo 26 marino. El cable 10 submarino está distanciado de la superficie 28 del fondo 26 marino una distancia h . El punto A de referencia de la medición está distanciado de la superficie 28 del fondo 26 marino una distancia h_1 de 0,2 m. Además, de la figura 3 se desprenden los parámetros s y s' .

20 El dispositivo 20 de cálculo puede estar preparado para determinar a partir del procedimiento (a) de cálculo la corriente máxima admisible independiente del tiempo. Admitiendo un aumento máximo de 2 Kelvin en el punto A de referencia para el cumplimiento del criterio 2K puede calcular el dispositivo 20 de cálculo la corriente máxima admisible a partir de la potencia P' perdida. Este valor puede ser puesto a disposición del dispositivo 22 de regulación.

25 El dispositivo 22 de regulación puede regular en el paso 204 siguiente a partir de la corriente (actual) inyectada, que es registrada por el dispositivo 18 de registro de la corriente, y de este valor la corriente a inyectar en el cable 10 submarino. El dispositivo 22 de regulación puede determinar por ejemplo en la manera descrita más arriba al menos un valor nominal de generación de corriente a partir de estos valores. Este puede ser transmitido a al menos una instalación 4 de energía eólica a través de la red 24 de comunicaciones.

En el paso 205 se puede pasar nuevamente, después de eliminar la avería del sistema de cable submarino, al funcionamiento normal y se puede transportar la corriente a través de los dos cables 10 submarinos.

30 De manera alternativa o complementaria del primer método también se puede determinar en el paso 203 la corriente máxima admisible con un método dinámico. En este método se puede implementar en el dispositivo 20 de cálculo el siguiente procedimiento de cálculo:

$$\Delta \vartheta(t) = \frac{P'}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left\{ E1 \left[\frac{s^2}{4 \cdot \alpha_B \cdot t} \right] - E2 \left[\frac{s'^2}{4 \cdot \alpha_B \cdot t} \right] \right\}, \quad (b)$$

en el que $E1(x)$ es la siguiente función integral exponencial

$$E1(x) = -0,5772 - \ln x - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{x^n}{(n \cdot n!)} . \quad (c)$$

35

En ella son

$$x = \frac{s^2}{4 \cdot \alpha_B \cdot t} \quad \alpha_B = \frac{\lambda}{\delta \cdot c}$$

y

siendo α_B el coeficiente de difusión térmica del fondo marino, δ la densidad del fondo marino y c la capacidad térmica específica del fondo marino.

5 Además, se comprobó, que las variaciones de temperatura $\Delta\vartheta(t)$ tienen lugar después de variaciones de la corriente con un retardo en el tiempo de horas hasta días. Esto resulta de las ecuaciones (b) y (c). Con el procedimiento (b) de cálculo se pueden determinar en función de la corriente medida (paso 202) las temperaturas actual y futura en el punto A de referencia. Se puede determinar una corriente máxima admisible en función del tiempo, que se puede poner a disposición del dispositivo 22 de regulación.

10 La ventaja del método dinámico en comparación con el método estacionario es en especial, que son admisibles temporalmente valores de corriente más altos que con el método estacionario, si se ajusta con suficiente antelación un valor más bajo de la corriente. Dado que en los sistemas offshore de energía eólica se puede producir una fluctuación de la potencia debido a condiciones meteorológicas variables, en especial las condiciones del viento, se puede inyectar con este procedimiento de regulación, por ejemplo en el caso de velocidades del viento relativamente pequeñas después de velocidades del viento relativamente altas, en conjunto más potencia.

15 Como dispositivo 22 de regulación se puede utilizar con preferencia un regulador PI. Un regulador PI puede ser utilizado de manera sencilla en especial con un retardo en el tiempo de horas a días del aumento de temperatura.

20 Para el cálculo del aumento actual de la temperatura en el punto de referencia se puede resolver nuevamente en el paso 203 la ecuación (b) de manera ventajosa con cualquier variación de la corriente. El nuevo resultado puede ser superpuesto a al menos el resultado anterior. Sin embargo, se comprobó, que no es preciso superponer todos los resultados precedentes. La razón de ello es que la influencia de una variación de la corriente depende, según el valor y el precalentamiento del fondo, del tiempo y disminuye después de un cierto tiempo. Con la limitación de las ecuaciones a resolver se puede reducir el tiempo o de cálculo y/o la potencia de cálculo necesaria. También es posible determinar previamente, basándose en valores experimentales, la cantidad de cálculos según la variación de la corriente y la temperatura actual.

25 También es ventajoso, que en una memoria del dispositivo 20 de cálculo se deposite de manera discreta la expresión de un periodo de tiempo máximo encerrada entre paréntesis curvos. Esto es posible, ya que esta expresión es independiente de la corriente. La ventaja de un almacenamiento discreto reside en especial en el hecho de una reducción adicional del tiempo y de la potencia de cálculo.

30 Para exponer las ventajas de la presente regulación de la corriente se explican y comparan entre en lo que sigue algunos ejemplos.

Ejemplo 1 (estado de la técnica):

35 En lo que sigue se parte de una potencia activa máxima del sistema offshore de energía eólica de 288 MW y de dos cables 10 submarinos de 155 kV. La potencia aparente máxima transportada es de 181 MVA y la corriente aparente máxima con la tensión nominal es de 675 A. La potencia aparente máxima de transporte es, para cumplir el criterio 2K, de 161 MVA y la corriente aparente máxima es de aproximadamente 600 A con la tensión nominal.

El servidor de la red permite en el estado de la técnica, cuando falla un sistema 10 de cable submarino una potencia activa máxima de 144 MW por cable 10 submarino, ya que con un factor de potencia máximo de 0,925 resulta capacitivamente una corriente aparente ligeramente inferior a 600 A (580 A).

Ejemplo 2 (método estacionario)

40 Si se parte del hecho de que un factor de potencia distinto de 1 y una tensión distinta de 1 p.u. se producen extremadamente rara vez, la ganancia máxima de potencia activa constante se halla en el ejemplo precedente en 17 MW en método estacionario de regulación.

Ejemplo 3 (método dinámico)

45 El sistema 2 offshore de energía eólica del ejemplo 1 puede recibir durante cinco días 170 MW sin poner en peligro del criterio 2K. Sin embargo, después puede recibir como máximo 150 MW para cumplir el criterio 2K.

Si en un intervalo de tiempo se pudieron inyectar algunas veces o siempre más que 161 MW, pero después se podían inyectar siempre durante cinco días menos que 150 MW se puede cumplir el criterio 2K e inyectar al mismo tiempo una cantidad de corriente mayor que en el ejemplo 2.

Además, es preciso hacer la observación de que se deberían cumplir las siguientes condiciones marginales para el valor nominal de la corriente:

- 5 Para el cumplimiento garantizado de las reglas de conexión con la red es, además, necesaria una prioridad de corriente reactiva para hacer posible el factor de potencia prefijado por el servidor de la red. Esto significa, que en el caso de prefijar un $\cos(\varphi)$ distinto de uno, la corriente aparente máxima admisible resulta de la necesaria relación entre corriente reactiva y corriente activa.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación de la corriente de un sistema (2) offshore de energía eólica, en el que el sistema (2) offshore de energía eólica posee al menos un cable (8, 10) submarino, comprendiendo:
- registro de la corriente inyectada en un punto de inyección del cable (8, 10) submarino,
- 5
- determinación de la corriente máxima dependiente del tiempo admisible para el cable (8, 10) submarino en función de un valor prefijado de un parámetro de temperatura máximo admisible en un punto de referencia, que se halla a una profundidad prefijada en el fondo (26) marino, determinando la corriente máxima admisible en función de la distancia del cable (8, 10) submarino al punto de referencia y
 - regulación de la corriente inyectada en el cable (8, 10) submarino de tal modo, que la corriente inyectada no rebase la corriente en función del tiempo máxima admisible determinada.
- 10
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque para la regulación de la corriente inyectada se ajusta al menos un valor nominal de generación de corriente de al menos una instalación de energía eólica (4) de tal modo, que la corriente inyectada no rebase la corriente máxima admisible en función del tiempo inyectada.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque
- 15
- el parámetro de temperatura es un aumento de temperatura máximo admisible,
 - siendo el valor máximo admisible del aumento de temperatura en especial 2K.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3 precedentes, caracterizado porque el parámetro de temperatura máximo admisible es un parámetro de temperatura dependiente del tiempo.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque
- 20
- en el caso de una variación de la corriente inyectada se determina nuevamente la corriente máxima admisible en función del tiempo y
 - el resultado de la nueva determinación se superpone a al menos el resultado de la determinación anterior.
6. Procedimiento según la reivindicación 4 ó 5, caracterizado porque la corriente máxima admisible dependiente del tiempo se determina en función de la resistencia del cable (8, 10) submarino y/o de la distancia del cable (8, 10) submarino al punto de referencia y/o de la distancia del cable (8, 10) submarino reflejado en la superficie (28) del mar al punto de referencia y/o de la conductividad térmica del fondo (26) marino y/o del coeficiente de difusión térmica del fondo (26) marino.
- 25
7. Sistema (2) offshore de energía eólica con
- al menos un cable (8, 10) submarino y
- 30
- al menos un dispositivo (18) de registro de la corriente preparado para registrar una corriente inyectada en un punto de inyección del cable (8, 10) submarino, estando
 - previsto un dispositivo (20) de pronóstico,
 - estando preparado el dispositivo (20) de pronóstico para la determinación de una corriente máxima admisible para el cable (8, 10) submarino dependiente del tiempo en función de un valor prefijado de un parámetro de temperatura máximo admisible en un punto de referencia, que se halla a una profundidad prefijada del fondo (26) marino, siendo determinada la corriente máxima admisible en función de la distancia del cable (8, 10) submarino al punto de referencia y
- 35
- se prevé un dispositivo (22) de regulación,
 - estando preparado el dispositivo (22) de regulación para regular la corriente inyectada en el cable (8, 10) submarino de tal modo, que la corriente inyectada no rebase la corriente máxima admisible en función del tiempo determinada.
- 40
8. Sistema (2) offshore de energía eólica según la reivindicación 7, caracterizado porque el dispositivo (22) de regulación es un regulador PI.

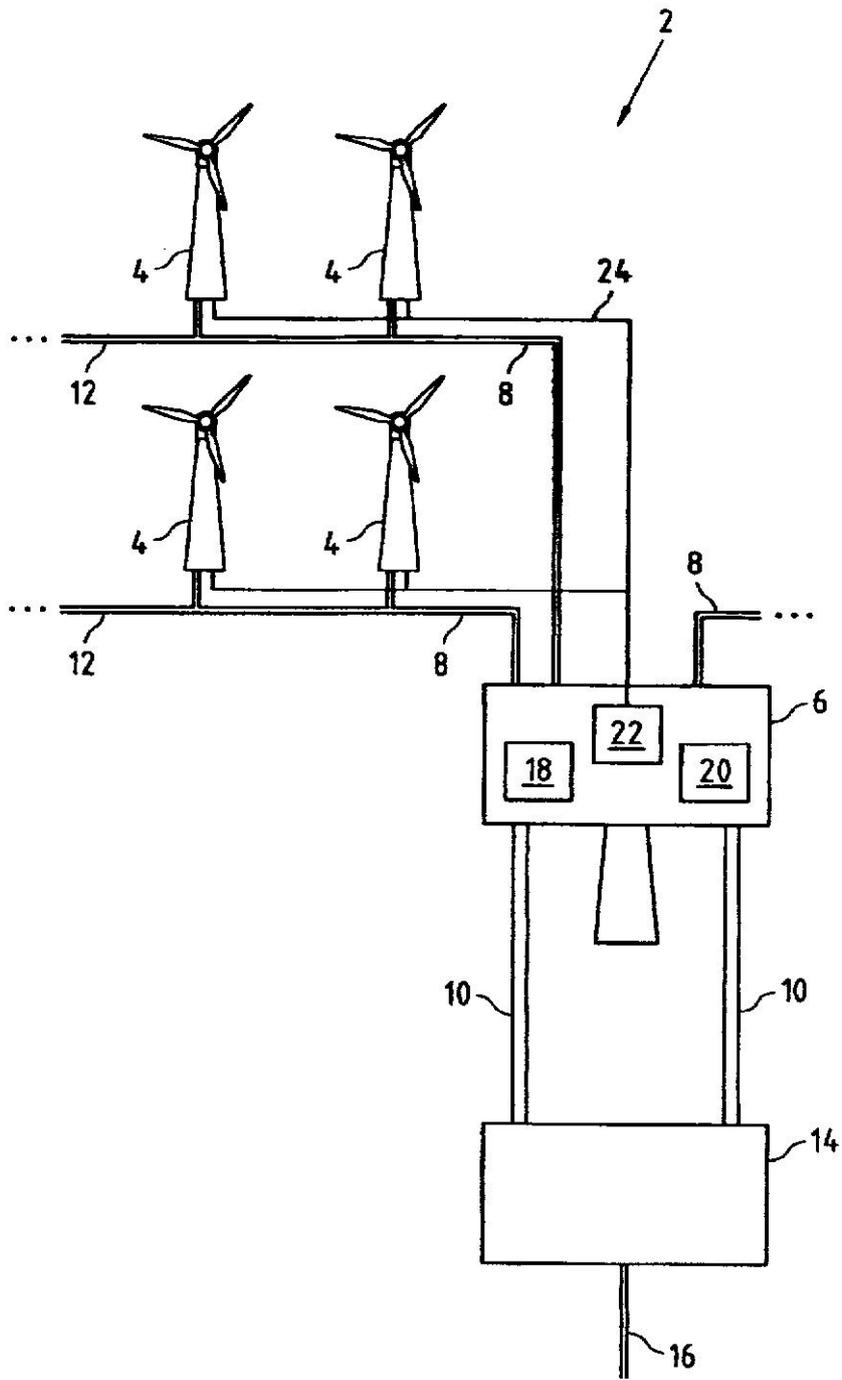


Fig.1

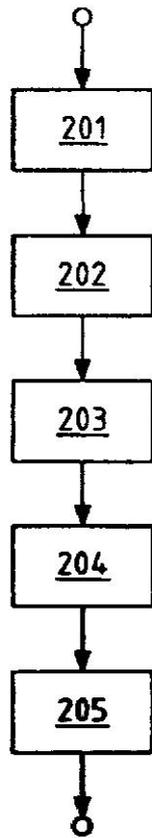


Fig.2

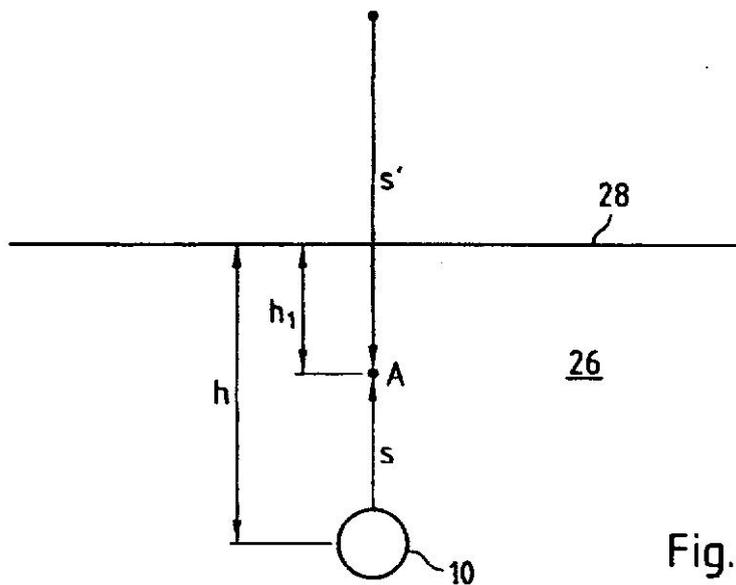


Fig.3