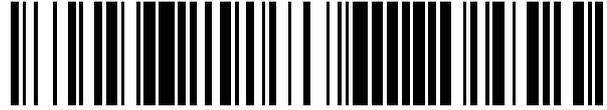


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 757**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2005 E 05808641 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2013 EP 1817496**

54 Título: **Procedimiento para la optimización del funcionamiento de instalaciones de energía eólica**

30 Prioridad:

22.11.2004 DE 102004056254

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

07.01.2014

73 Titular/es:

REPOWER SYSTEMS SE (100.0%)

Überseering 10

22297 Hamburg, DE

72 Inventor/es:

WEITKAMP, ROLAND

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 436 757 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 optimización del funcionamiento de instalaciones de energía eólica

5 La invención se refiere a un procedimiento para la optimización del funcionamiento de instalaciones de energía eólica, que comprenden un rotor, un generador accionado por éste para la generación de energía eléctrica y un control, haciendo funcionar el control la instalación de energía eólica mediante un juego de parámetros, y usándose una segunda instalación de energía eólica de referencia.

10 La generación de energía eléctrica a partir de la fuerza del viento gana un significado económico creciente. Por ello se buscan medidas para el aumento del rendimiento. A ello pertenecen, junto a la elección de un emplazamiento favorable para la instalación de energía eólica y la selección de un modelo apropiado para el emplazamiento, también la elección de los parámetros de funcionamiento correctos. Esto tiene precisamente una gran importancia en las instalaciones de energía eólica modernas, ya que se trata de una estructura compleja que se hace funcionar con la ayuda de un control costoso. Ofrece una multiplicidad de parámetros ajustables que se deben ajustar para la obtención del resultado más elevado posible. Pero un resultado de funcionamiento favorable no sólo significa en este caso generar la mayor energía eléctrica posible, sino que también se refiere a otros aspectos, como una emisión de ruido lo más baja posible, bajas sollicitaciones del tren de accionamiento o bien de toda la estructura de la instalación de energía eólica o también con vistas a una buena compatibilidad con la red. Para encontrar un ajuste lo mejor posible de los parámetros para el funcionamiento de la instalación de energía eólica se usan procedimientos de optimización para la mejora de los valores obtenidos de experiencias prácticas.

20 Por el documento DE-A-101 27 451 se conoce realizar variaciones de parámetros para localizar un valor óptimo. El procedimiento se basa en la idea de variar un parámetro mediante un temporizador dentro de valores límite predeterminables hasta que se encuentra un valor óptimo. Una desventaja de este método consiste en que con él sólo se determina con frecuencia un óptimo local en vez de uno global. Además, el método presenta la desventaja de que no se puede diferenciar entre fluctuaciones estocásticas debido a parámetros del entorno modificados, en particular en la intensidad y dirección del viento, y mejoras reales debido al ajuste del parámetro modificado. Por ello el método no siempre proporciona resultados satisfactorios. Además, el procedimiento es proporcionalmente lento.

30 El documento DE-A-101 37 272 se refiere a un sistema SODAR (Sonic Detection and Ranging) que se dispone en la góndola de una instalación de energía eólica. Con el sistema SODAR se pueden determinar de forma tridimensional las relaciones de viento de la instalación de energía eólica. Por consiguiente las ráfagas de viento se pueden reconocer antes de aparecer en la instalación de energía eólica en cuestión y tomar medidas para evitar los daños. Además, se propone usar anemómetros y dispositivos de sollicitación existentes a fin de proveer las instalaciones de energía eólica, que están dispuestas detrás del dispositivo de medición, con los datos medidos. Por consiguiente los parámetros de funcionamiento de estas instalaciones de energía eólica se pueden adaptar de forma temprana a los parámetros del viento. En ambos procedimientos es desventajoso que no se puedan reconocer las fluctuaciones estocásticas de los parámetros del viento. Además, no se obtiene una optimización de los parámetros de funcionamiento.

35 Por el documento US-A-4 683 718 se conoce un control para las ruedas de álabes de una turbina para una presa. La presa presenta en este caso al menos una turbina con las aletas de turbina ajustables y otras turbinas no ajustables. Con la ayuda de una supervisión del nivel de agua del embalse y de la turbina con las aletas de turbina ajustables se determina el número óptimo de turbinas a hacer funciona. Para ello la turbina ajustable se abre de forma controlada. Si aumenta el nivel de agua con apertura completa, se cierra de nuevo y se conecta una turbina no ajustable. Este proceso se repite hasta que el nivel del agua ya no se modifica. Este procedimiento es desventajoso porque es proporcionalmente lento y no se reconocen las fluctuaciones estocásticas de los parámetros.

40 La invención tiene el objetivo de mejorar un procedimiento del tipo mencionado al inicio de manera que se pueda realizar una optimización más rápida y segura.

45 La solución según la invención se encuentra en las características de las reivindicaciones independientes. Ampliaciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Según la invención, en un procedimiento para la optimización del funcionamiento de las instalaciones de energía eólica, que comprenden respectivamente un rotor, un generador accionado por éste para la generación de energía eléctrica y un control que hace funcionar la instalación de energía eólica correspondiente mediante un juego de parámetros de funcionamiento, y una de las instalaciones de energía eólica se usa como instalación de energía eólica objetivo y una segunda de las instalaciones de energía eólica como instalación de energía eólica de referencia, está previsto hacer funcionar la instalación de energía eólica objetivo a optimizar en primer lugar con un primer juego de parámetros y luego con un segundo juego de parámetros de funcionamiento diferente del primer juego, detectar las magnitudes objetivo de la instalación de energía eólica objetivo, siendo las magnitudes objetivo variables del sistema, y los resultados de referencia de la instalación de energía eólica de referencia respectivamente para ambos juegos de parámetros de funcionamiento, evaluar de forma automatizada las magnitudes objetivo mediante el cálculo de una medida de calidad, en particular el

rendimiento energético determinado durante un intervalo de tiempo seleccionable, teniendo en cuenta los resultados de referencia, y determinar de forma automatizada el juego de parámetros de funcionamiento con la mejor medida de calidad.

5 La invención se basa en el pensamiento de, en la optimización del resultado del funcionamiento, no limitarse sólo a la instalación de energía eólica a optimizar (instalación de energía eólica objetivo), sino evaluar el resultado de las modificaciones de los parámetros de funcionamiento de forma automatizada mediante una instalación de referencia. Esta instalación de referencia está dispuesta preferentemente en las proximidades, por ejemplo, se trata de una instalación vecina; pero no es necesario por fuerza en las proximidades. La selección de la instalación de energía eólica de referencia depende mejor dicho de que en conjunto reinen unas condiciones lo más comparables posibles, pero no siendo necesaria la identidad de las relaciones. Le corresponde un papel especial en este caso a las relaciones de viento y las condiciones de circulación provocadas por ello en el rotor de las instalaciones de energía eólica. Como es sabido el viento la mayoría de las veces no sopla de forma uniforme, sino que fluctúa. Estas fluctuaciones son en general estocásticas y se refieren a todos los parámetros del viento, por ejemplo, dirección y velocidad del viento, factor de ráfagas, relaciones de turbulencias, etc. Debido a estas fluctuaciones del viento se dificulta la comparación de las mediciones que se realizan sucesivamente, y llega hasta la inviabilidad. Clásicamente se combate esta estocástica inevitable del viento por largos tiempos de medición a fin de conseguir una media. Una optimización sólo se puede realizar de esta manera de forma lenta.

20 Aquí comienza la invención. La invención prevé combatir la estocástica del viento no como hasta ahora como indeseada y asumir para ello largos tiempos de medición, sino que según la invención se acepta la estocástica y se usa para la aceleración del procedimiento de optimización. La invención consigue esto en tanto que hace funcionar sucesivamente la instalación de energía eólica objetivo con dos juegos diferentes entre sí de parámetros de funcionamiento y detecta los resultados de funcionamiento que aparecen en este caso, expresado más generalmente como magnitudes objetivo. Lo mismo ocurre en referencia a las instalaciones de energía eólica de referencia, sólo que en ellas no se deben modificar los parámetros de funcionamiento. Es suficiente detectar los resultados de referencia en paralelo a los de las instalaciones de energía eólica objetivo.

30 La invención usa el conocimiento de que la instalación objetivo y de referencia están afectadas de manera similar por cambios aleatorios, como por ejemplo, una fluctuación de la velocidad del viento o cambios de la dirección del viento. Los cambios de potencia provocados por ello afectan entonces a la vez a la instalación de energía eólica objetivo y de referencia, y por ello no se tienen en cuenta. Los cambios del resultado de funcionamiento que se basa en el cambio de los parámetros de funcionamiento actúan por el contrario diferentemente en la instalación de energía eólica objetivo y de referencia. La invención ha reconocido que en las fluctuaciones en los resultados de funcionamiento de las instalaciones de referencia se encuentra una medida a recabar de forma sencilla para la estocástica del viento, y que por consiguiente se puede realizar una validación de la medida de calidad. Por consiguiente es posible una diferencia rápida y que se realiza automáticamente de si los cambios (por ejemplo, ganancias) se basan realmente en el juego modificado de los parámetros de funcionamiento o si pueden deber sólo a la estocástica del viento. En el primer caso mencionado el resultado se puede usar para la optimización, en el segundo caso mencionado se desecha. La invención permite por consiguiente dar también sin largos tiempos de medición y de manera automatizada con una evidencia sobre el efecto de los cambios de los parámetros de funcionamiento sobre las magnitudes objetivo alcanzadas (en particular resultados de funcionamiento). Por consiguiente une las ventajas de un procedimiento de promediación prolongado con vistas a la discriminación de cambios reales debido a cambios de parámetros de los falsos debidos a la estocástica del viento, por un lado, con aquellos de un procedimiento de optimización rápido sin tener en cuenta la estocástica con vistas a la velocidad de optimización, por otro lado. Con el juego así optimizado de parámetros de funcionamiento se puede hacer funcionar entonces la instalación de energía eólica. Dado que el procedimiento según la invención es menos vulnerable a modificaciones aleatorias, se puede acortar el tiempo de duración para la realización del procedimiento de optimización. El procedimiento según la invención se puede realizar de forma rápida y también en grandes parques eólicos con muchas instalaciones de energía eólica conduce rápidamente a un resultado de funcionamiento óptimo.

50 La rápida factibilidad es en particular una ganancia en la automatización. Permite realizar el procedimiento no sólo rápidamente, sino también con frecuencia. La realización frecuente del procedimiento de optimización según la invención ofrece la garantía de que las instalaciones de energía eólica procesadas se hagan funcionar casi todo el tiempo con su valor óptimo. Esto es ventajoso en particular en aquellas situaciones en las que aparecen intensas fluctuaciones estocásticas en las condiciones del viento. La invención proporciona un procedimiento proporcionalmente sencillo que gracias a su automatización se recomienda para la realización frecuente justamente también bajo condiciones semejantes.

A continuación se explican algunos conceptos usados:

55 Bajo parámetros de funcionamiento se entiende un coeficiente o parámetro del sistema que influye en el comportamiento del sistema. En este caso se puede tratar de uno del sistema mecánico o del eléctrico o de uno del dispositivo de control y de regulación.

La magnitud objetivo a optimizar es una variable del sistema. Se produce como consecuencia de otras variables y parámetros. Entonces el término también comprende el resultado de funcionamiento de la instalación de energía eólica, por lo tanto la energía o potencia eléctrica producida. Otros ejemplos para la magnitud objetivo a optimizar son la emisión de ruidos de la instalación de energía eólica, compatibilidad en la red de la energía eléctrica generada, solicitud de la instalación en particular por cargas de flexión y/o de vibración, así como comportamiento oscilatorio. El término “resultado de referencia” se corresponde en su significado al término “resultado de funcionamiento”. No es necesario que “resultado de funcionamiento” y “resultado de referencia” sean siempre parámetros idénticos.

Convenientemente como magnitud objetivo a optimizar se usa la potencia eléctrica entregada por la instalación de energía eólica objetivo, y como medida de calidad se usa el rendimiento energético determinado durante un intervalo de tiempo seleccionable. De esta manera se pueden tomar por base de la optimización los parámetros de potencia y energía especialmente importantes para un funcionamiento económico de la instalación de energía eólica. Como parámetros de funcionamiento a variar se usan preferentemente un ángulo de pala de las palas de rotor, una curva característica de velocidad de rotación – par y/o un decalado de un sensor de dirección del viento. El ángulo de pala es el ángulo de ajuste de las palas de rotor individuales respecto al plano del rotor, pensándose en particular también en la optimización de los ángulos de pala individuales de en general las tres palas de rotor. Mediante la curva característica de velocidad de rotación – par se determina la velocidad de rotación óptima del rotor en el rango de carga parcial mediante un el ratio de velocidad de punta. El decalado del sensor de dirección del viento es un valor del desvío del sensor de su dirección de consigna. De ello resulta que la calibración del sensor de dirección del viento sólo se puede realizar con exactitud finita, y en la práctica se debe contar con una inexactitud que puede alcanzar algunos grados. Adicionalmente el sensor de viento se sitúa en una zona que está afectada por remolinos debido al rotor. De este modo se producen mediciones erróneas. Si la instalación de energía eólica se orienta mediante un dispositivo de seguimiento en base a señales del sensor de dirección del viento, entonces se reproduce el error condicionado por el decalado. Para minimizar este error u optimizar el funcionamiento de la instalación de energía eólica se puede recurrir ventajosamente al procedimiento según la invención.

Según una forma de realización preferida no se modifican los parámetros de funcionamiento de la instalación de referencia. Esto tiene la ventaja de que no es necesario un acceso activo a la instalación de energía eólica de referencia. Además, se garantiza así que las modificaciones de la magnitud objetivo por fluctuaciones del viento no se mezclan con modificaciones por una variación de los parámetros de funcionamiento. Por consiguiente se hace posible usar también instalaciones de energía eólica “externas” como instalaciones de energía eólica de referencia, que no pertenecen al propio parque eólico. Además, por consiguiente se hace posible servirse al mismo tiempo de una instalación de energía eólica de referencia con varias instalaciones de energía eólica objetivo a optimizar, sin que se produzcan conflictos debido a diferentes variaciones de parámetros.

Preferentemente la validación comprende una consulta de una matriz de evaluación en la que está contenida una multiplicidad de otras instalaciones de energía eólica que están previstas como instalaciones de energía eólica de referencia. Una matriz de evaluación semejante es ventajosa en particular para una optimización de un número mayor de instalaciones de energía eólica, como por ejemplo en la optimización de parques eólicos completos. En la matriz de evaluación está comprendida la información sobre la relación de la instalación de energía eólica objetivo respecto a la de referencia. Permite convertir las modificaciones de las magnitudes objetivos de la instalación de energía eólica de referencia en modificaciones de la magnitud objetivo de la instalación de energía eólica objetivo, por ejemplo, teniendo en cuenta las diferentes curvas de potencia de la instalación de energía eólica objetivo y de referencia. Además, se recurre a la información archivada para la determinación del umbral de validación hasta el que se aceptan los datos de la instalación de energía eólica de referencia y más allá se desechan. Entonces puede estar previsto que en instalaciones de energía eólica idénticas muy próximas se aplique una escala más aguda en la validación que en una instalación de energía eólica de referencia sólo similar que además está a una distancia consabida. Naturalmente otra escala de validación se debe compensar por un intervalo de tiempo de medición más largo o por la evaluación de una multiplicidad de intervalos de tiempo de medición, es decir, por modos estadísticos, a fin de obtener resultados de la misma calidad. En una matriz de evaluación sencilla estos comportamientos pueden ser expresados en forma de sumatorio por un valor de acoplamiento escalar. Pero la matriz de evaluación está construida preferentemente de modo que presenta vectores como elementos. Estos contienen valores para diferentes condiciones intrínsecas y extrínsecas que se deben tener en cuenta en la unión de una instalación de energía eólica de referencia con una instalación de energía eólica objetivo determinada. Por consiguiente se producen posibilidades adicionales para la evaluación refinada. Además, se simplifica la representación y evaluación matemática. Una matriz de evaluación semejante es apropiada por consiguiente en particular para una automatización.

Convenientemente en el desarrollo de la validación de la instalación de energía eólica de referencia se tienen en cuenta tanto condiciones estáticas como también dinámicas. Entre las estáticas figuran en particular las así denominadas condiciones intrínsecas, pero también algunas otras como el lugar de colocación, así como sus relaciones con el entorno. A las condiciones dinámicas pertenecen en particular aquellas que tienen que ver con las condiciones meteorológicas reinantes. Esto se refiere en particular a los parámetros del viento (intensidad y dirección del viento). Por ejemplo, la dirección del viento sirve para excluir instalaciones de energía eólica que se sitúan delante o detrás de la instalación

objetivo a optimizar en la dirección del viento. En caso contrario existiría el peligro de que la instalación de referencia se viera influida debido a interrelaciones con la instalación de energía eólica objetivo a optimizar. Tales interrelaciones aparecen en particular al estar delante y detrás a lo largo de la dirección del viento correspondiente. Esto puede tener como consecuencia que en instalaciones de energía eólica en fila se pueda realizar el procedimiento según la invención en la mayoría de las direcciones del viento, pero no cuando el viento sopla a lo largo de la dirección determinada por la fila. En un caso semejante el procedimiento según la invención suprimiría preferentemente la optimización hasta que el viento sople desde una dirección más favorable. Por consiguiente se evitan falseamientos.

Convenientemente se recurre a condiciones intrínsecas en la determinación de las instalaciones de energía eólica. Bajo condiciones intrínsecas se entienden características tales que están fundamentadas en la instalación de energía eólica misma. Entre ellas cuentan, por ejemplo, el tipo de máquina del generador, el concepto de regulación usado por la instalación de energía eólica, la construcción del rotor (velocidad de rotación fija o variable), tipo de pala de rotor y tamaño de la instalación. Pero no es necesario que solo se determine una instalación de energía eólica idéntica en este sentido como instalación de energía eólica de referencia. En general será suficiente determinar una instalación similar como instalación de energía eólica de referencia.

Además, es conveniente que se recurra a condiciones extrínsecas en la determinación de la instalación de energía eólica de referencia. Entre ellas figuran en particular aquellos factores que describen la interrelación de la instalación de energía eólica con el ambiente. Entre ellas figuran entre otras el lugar y altura de colocación, así como la posición en referencia a obstáculos que influyen en la circulación del aire para la instalación de energía eólica correspondiente. Como obstáculos no sólo se ven en este caso formas naturales como colinas o bosques, sino también estructuras artificiales, incluso instalaciones de energía eólica colocadas en las inmediaciones, dado que también actúan influyendo en el flujo según la dirección del viento.

La variación de los parámetros de funcionamiento y detección de las magnitudes objetivo se repite preferentemente hasta que se consigue un criterio de interrupción ϵ predeterminable. Convenientemente ϵ se tiene en este caso por una diferencia de la medida de calidad. Si este valor se sitúa por debajo de un umbral ajustable entonces se puede finalizar el procedimiento de optimización para esta instalación de energía eólica de referencia. Se entiende que no es necesario por fuerza recurrir a costosas medidas de calidad para el criterio de interrupción. También puede estar prevista una medida de calidad sencilla. Aquí entran en consideración, por ejemplo, valores medios cada 10 minutos.

Está previsto preferentemente el uso de una matriz de corrección K . En la matriz de corrección están contenidos los valores de corrección para las combinaciones individuales de instalaciones de energía eólica objetivo y de referencia. Por consiguiente se hace posible tener en cuenta en cálculo las diferencias entre las diferentes instalaciones de energía eólica. La matriz de corrección está configurada preferentemente de forma adaptativa. Esto significa que mediante un algoritmo autoadaptativo se adaptan automáticamente los valores individuales de la matriz de corrección. De este modo se tienen en cuenta automáticamente las modificaciones que se pueden producir durante un funcionamiento más largo de las instalaciones de energía eólica individuales.

Después de las explicaciones anteriores no se necesita una explicación más detallada de que ya únicamente, pero no sólo, debido a la naturaleza fluctuante del viento no se puede realizar la determinación de una instalación de referencia apropiada de la manera establecida anteriormente, sino que siempre sólo se puede llevar a cabo con éxito mediante las respectivas condiciones de entorno reinantes. En principio esta determinación se puede realizar por el personal de explotación. Pero para descargar al operador y su personal de esta determinación, según otro aspecto de la invención, para el que se busca eventualmente protección independiente, está previsto realizar esta determinación de forma automática.

En una forma de realización preferida se consignan varias instalaciones de energía eólica formando un grupo de instalaciones de energía eólica objetivo y/o instalaciones de energía eólica de referencia. Entonces, por ejemplo, en una fila dispuesta transversalmente a la dirección del viento de varias instalaciones de energía eólica, una de cada dos instalaciones puede ser una instalación de energía eólica objetivo, en la que se usa el juego variado de parámetros de funcionamiento. Esto no sólo tiene la ventaja de que varias instalaciones de energía eólica objetivo se puede optimizar a la vez. Otra ventaja notable consiste en que debido al gran número de instalaciones de energía eólica ya es suficiente un tiempo de observación breve para detectar y valorar resultados de funcionamiento significativos. Se ha demostrado que bajo condiciones favorables, por ejemplo, una fila situada transversalmente al viento de instalaciones de energía eólica offshore en un número de diez a veinte ya puede ser suficiente un funcionamiento de diez minutos a fin de valorar los efectos de la variación de los parámetros de funcionamiento sobre la magnitud objetivo a optimizar. La invención aprovecha en este caso el conocimiento de que en lugar de un número de pruebas aleatorias tomadas durante intervalo de tiempo más largo también proporcionan un resultado comparable significativo las pruebas aleatorias tomadas también en paralelo en un instante. De este modo se acelera considerablemente la realización del procedimiento de optimización.

La formación de grupos ofrece además la posibilidad de usar procedimientos de optimización más costosos, en los que se valoran simultáneamente varios juegos de parámetros. Una posibilidad semejante consiste, por ejemplo, en variar los

5 juegos de parámetros de funcionamiento para el grupo de instalaciones de energía eólica objetivo, de modo que se forma un campo de gradiente para el parámetro a optimizar. Luego se puede determinar rápidamente con un procedimiento de gradiente conocido en sí con que valor se debe continuar la optimización de la forma más conveniente. De este modo el procedimiento de optimización converge muy rápidamente de modo que en poco tiempo se puede encontrar un juego óptimo de parámetros de funcionamiento. Cuanto mayor sea el número de instalaciones de energía eólica en el grupo tanto más rápido se puede realizar la optimización. Por consiguiente la invención ofrece la posibilidad de optimizar rápidamente también grandes parques eólicos.

10 No es necesario que se mantenga una relación 1:1 entre instalaciones de energía eólica de referencia e instalaciones de energía eólica objetivo. Puede estar previsto usar varias instalaciones de energía eólica objetivo. Esto tiene la ventaja de que se pueden distinguir entre sí las desviaciones de las instalaciones de energía eólica y eliminar valores atípicos eventuales de esta manera. De este modo se contrarresta el peligro de que una instalación de energía eólica defectuosa o perturbada en otra forma produzca resultados desvirtuados del procedimiento de optimización.

15 La invención se refiere además a una instalación de energía eólica con un rotor, un generador accionado por éste para la generación de energía eléctrica y un control que está configurado para el funcionamiento de la instalación de energía eólica mediante un juego de parámetros de funcionamiento, estando unido el control con un dispositivo de detección para las magnitudes objetivo y de funcionamiento de una instalación de energía eólica de referencia, y el control presenta un módulo de optimización para la realización del procedimiento según la invención.

20 La invención se refiere además a un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica que comprenden un rotor, un generador accionado por éste para la generación de energía eléctrica así como un control que está configurado para el funcionamiento las instalaciones de energía eólica mediante un juego de parámetros de funcionamiento y, además, está previsto un maestro de parque con función de control para las instalaciones de energía eólica, presentando según la invención el maestro de parque un módulo de optimización para la realización del procedimiento según la invención. El maestro de parque no necesita ser en este caso un dispositivo realizado por separado, también puede estar configurado como un elemento del control de una instalación de energía eólica.

25 Para la explicación se remite a la descripción anterior del procedimiento según la invención.

La invención se explica a continuación en referencia al dibujo adjunto en el que están representados ejemplos de realización ventajosos de la invención. Muestran:

Fig. 1 una representación de conjunto de un parque eólico para la aplicación del procedimiento según la invención;

Fig. 2 una representación esquematizada del parque eólico durante la realización del procedimiento según la invención;

30 Fig. 3 otro ejemplo de realización para un parque eólico con un obstáculos del flujo en el entorno;

Fig. 4 una matriz de evaluación para el parque eólico representado en al fig. 3;

Fig. 5 una matriz de corrección para la matriz de evaluación según la fig. 4;

Fig. 6 otro ejemplo de realización para un parque eólico con grupos de instalaciones de energía eólica;

35 Fig. 7 otro ejemplo de realización para la aplicación del procedimiento de optimización según la invención en instalaciones de energía eólica individuales;

Fig. 8 un plan de desarrollo de un procedimiento marco del procedimiento de optimización según la invención;

Fig. 9 una etapa de optimización del procedimiento de optimización representado en la fig. 8.

En la fig. 1 está representado un parque eólico previsto para la realización del procedimiento según la invención. Comprende una multiplicidad de instalaciones de energía eólica 1 a 4, así como un maestro de parque 5.

40 Las instalaciones de energía eólica 1 a 4 son iguales constructivamente. Para la explicación de la estructura se recurre a la instalación de energía eólica 1; para las restantes es válido lo correspondiente. La instalación de energía eólica 1 comprende una torre 11 con una sala de máquinas 12 dispuesta de forma pivotable sobre ella. En su lado frontal está montado de forma rotativa un rotor 13 y está conectado con un generador 14 a través de un árbol de accionamiento (no representado). El generador 14 es preferentemente una máquina asíncrona doblemente alimentada, pero también se pueden usar otros tipos constructivos, como máquinas síncronas o asíncronas. El generador 14 está conectado a través de un convertidor de frecuencia 15 con la línea de conexión 16. El convertidor de frecuencia 15 puede estar realizado como convertidor total o parcial. Para la determinación de la dirección del viento está prevista una veleta 10 como sensor para el control 17.

Para el control del funcionamiento de la instalación de energía eólica 1 está previsto un control 17. Está configurado para

5 hacer funcionar la instalación de energía eólica 1 según especificaciones ajustables. Las especificaciones pueden ser establecidas internamente o ser suministradas desde el exterior a través de una conexión de datos 18. El dispositivo de control 17 está conectado con dispositivos de medición de los que está representado a modo de ejemplo un equipo de medición de potencia 19. Sirve para la determinación de la tensión eléctrica entregada por la instalación de energía eólica, la corriente, así como la posición de fase, de lo cual se puede determinar entre otros la energía eléctrica entregada. Por consiguiente y mediante las especificaciones transmitidas a través de la conexión de datos 18 se hace funcionar la instalación de energía eólica 1. El control 17 presenta para ello dispositivos de regulación correspondientes con una multiplicidad de parámetros de funcionamiento.

10 Las instalaciones de energía eólica 1 a 4 están conectadas con sus líneas de conexión 16 correspondientes con una red colectora 6 del parque eólica. En la red colectora 6 se inyecta la energía eléctrica entregada por las instalaciones de energía eólica 1 a 4 individuales del parque eólico. La red colectora 6 está conectada con una red de alta tensión 9 de una empresa suministradora de energía a través de un punto de interconexión 69. En el punto de interconexión 69 puede estar previsto un transformador para el aumento del nivel de tensión, así como un dispositivo de conmutación 68 para la separación del parque eólico de la red de alta tensión 9.

15 Las líneas de datos 18 de las instalaciones de energía eólica 1 a 4 están agrupadas formando una red de datos 8 del parque eólico. Está unida con un maestro de parque 5. Éste proporciona una gestión central del funcionamiento para todas las instalaciones de energía eólica 1 a 4 del parque eólico. Además, mediante un dispositivo medidor 59 supervisa la conexión del parque eólico a la red de alta tensión 9. A través de la conexión 55 se aplican en el maestro de parque 5 especificaciones del exterior, como por ejemplo, aquellas del operador de la red de alta tensión 9 o del operador del parque eólico. El maestro de parque 5 determina gracias a un ordenador de gestión 50 y debido a las condiciones de funcionamiento y las especificaciones las magnitudes de consigna para el funcionamiento de las instalaciones de energía eólica 1 a 4 individuales. Se transmiten a los dispositivos de control 17 de las instalaciones de energía eólica 1 a 4 individuales a través de la red de datos 8. Además, el maestro de parque 5 está provisto de un módulo de optimización 51. Comprende un elemento de determinación 52, un elemento de optimización 53, así como un elemento de validación 54. El modo de proceder del módulo de optimización con sus elementos funcionales se explica posteriormente con más detalle.

30 En primer lugar se debe explicar un ejemplo de realización en referencia a la fig. 2. La fig. 2 muestra una vista esquemática desde arriba del parque eólico representado en la fig. 1. Se distinguen las instalaciones de energía eólica 1, 2 y 3 dispuestas en una fila, así como la instalación de energía eólica 4 dispuesta individualmente en una segunda fila. El maestro de parque 5, así como la red colectora 6 y la red de datos 8 no están representados en la fig. 2. Para la explicación se asume además que el parque eólico se hace funcionar con un viento que está simbolizado con las flechas continuas. Las instalaciones de energía eólica 1 a 4 están orientadas luego según se representa con las líneas continuas.

35 Para la explicación se considera ahora el procedimiento de optimización según la invención, tal y como se realiza por el módulo de optimización 51. Adicionalmente se hace referencia a la fig. 8. En primer lugar se realiza una inicialización y selección de la instalación de energía eólica objetivo a optimizar (etapa 101). La instalación de energía eólica a optimizar es la instalación nº 2. En una etapa siguiente continúa una consulta de los parámetros de funcionamiento de la instalación de energía eólica objetivo B(2) a optimizar, así como de los valores de la matriz de evaluación \underline{E} (etapa 102). Luego mediante estos valores se puede determinar una instalación de referencia apropiada. Esta determinación de la instalación de energía eólica de referencia se puede realizar a mano, pero convenientemente esto se efectúa de forma automática mediante el elemento de determinación 52. Aquí entran en consideración las instalaciones de energía eólica 1, 3 y 4. Se asume que entre todas las instalaciones de energía eólica existe una concordancia respecto a las condiciones intrínsecas, en particular respecto al tamaño de la instalación y del concepto de regulación. Por consiguiente existe una idoneidad básica como instalación de energía eólica de referencia. Además, se comprueba que concordancia existe en las condiciones extrínsecas. A ello pertenece si la instalación de energía eólica de referencia considerada se sitúa delante o detrás de un obstáculo en referencia a la dirección del viento preponderante actual. Si éste es el caso entonces la instalación de energía eólica en cuestión es inapropiada como instalación de energía eólica de referencia. Según se reconoce de la representación en la fig. 2 sin más, las instalaciones de energía eólica 1 y 3 son equivalentes por su lugar de colocación. Ambas están dispuestas junto a la instalación de energía eólica objetivo 2 a optimizar y presumiblemente son la misma si no, a excepción de turbulencias locales, están expuestas a condiciones de viento idénticas. En referencia a la instalación de energía eólica 4 esto es diferente. Está dispuesta inmediatamente detrás de la instalación de energía eólica objetivo 2, por consiguiente se sitúa en su cola. Aquí se debe contar con influencias del funcionamiento de instalación de energía eólica objetivo sobre la instalación de energía eólica 4. Por consiguiente ésta no es apropiada como instalación de energía eólica de referencia. En las dos instalaciones de energía eólica 1, 3 consideradas se valora la concordancia respecto a otros parámetros, en particular acerca de la intensidad y dirección del viento. Los detalles para la realización se explican posteriormente en referencia a la fig. 4. Del grado de concordancia de las condiciones intrínsecas y extrínsecas se forma un valor de clasificación. Esto ocurre sucesivamente para las instalaciones de energía eólica de referencia consideradas. La instalación con el mejor valor de clasificación se determina finalmente como instalación de energía eólica de referencia (etapa 103). En el ejemplo la instalación nº 1 es por consiguiente la instalación de energía

eólica de referencia.

En la siguiente etapa 104 se realiza entonces la optimización real mediante el elemento de optimización 53. Esto se explica posteriormente más en detalle. Cuando la optimización se ha concluido para la instalación de energía eólica objetivo 2, se sigue con la siguiente instalación de energía eólica (etapa 105 y 106) hasta que se han optimizado finalmente todas las instalaciones de energía eólica de un parque (etapa 106). Por consiguiente ha finalizado la optimización del parque.

Además, en la fig. 2 está representada una variante con líneas a trazos en la que el viento sopla desde la dirección representada por la flecha a trazos. Aquí están dispuestas en fila ahora, visto en la dirección del viento, las instalaciones de energía eólica 1 a 3. Como ya anteriormente se debe optimizar la instalación de energía eólica 2 a modo de ejemplo. En la determinación de la instalación de energía eólica de referencia son válidas las mismas escalas que en el ejemplo mencionado anteriormente. Pero debido a la dirección del viento modificada el resultado es otro. Las instalaciones de energía eólica 1 y 3 se sitúan ahora debido a la dirección del viento diferente por delante o detrás de la instalación de energía eólica objetivo 2 a optimizar. Por consiguiente se retiran como instalación de energía eólica de referencia. Pero debido a estas otras condiciones de viento se favorece ahora, al contrario de lo que se ha discutido anteriormente, la instalación de energía eólica 4 como instalación de energía eólica de referencia. En cualquier caso esto es válido en referencia a las condiciones de viento. Si se puede recurrir a ella realmente como instalación de energía eólica de referencia, todavía depende de los factores estáticos o intrínsecos mencionados anteriormente, en particular tipo de máquina, tamaño de máquina, concepto de regulación, etc. Si estas condiciones intrínsecas deben excluir la elección de la instalación de energía eólica 4 como instalación de energía eólica de referencia, entonces no hay disponible ninguna instalación de energía eólica de referencia apropiada para la optimización de la instalación de energía eólica 2. Además, se debe comprobar si la circulación libre de la instalación de energía eólica 4 no provoca falseamientos en comparación a la circulación de cola de la instalación de energía eólica objetivo 2. En el caso más desfavorable no se puede realizar entonces el procedimiento según la invención en esta dirección del viento.

Ahora se hace referencia a la fig. 9 para la explicación de la etapa de optimización 104. En primer lugar se lee un juego de parámetros de funcionamiento de la instalación de energía eólica objetivo 2. Después del transcurso de un intervalo de tiempo de medición predeterminado, por ejemplo 10 minutos, se consultan y memorizan temporalmente los resultados de funcionamiento $E_Z(t1)$ de la instalación de energía eólica objetivo 2 conseguidos con el primer juego de parámetros de funcionamiento, así como los resultados de funcionamiento $E_R(t1)$ de la instalación de energía eólica de referencia 1 (etapa 405). Mientras que la instalación de energía eólica objetivo 2 funciona con este (primer) juego de parámetros de funcionamiento (etapa 403), mediante variación de uno o varios parámetros a optimizar (parámetros objetivo) se genera un segundo juego diferente de parámetros de funcionamiento (etapa 407). Luego se le entrega el segundo juego de parámetros de funcionamiento con el parámetro objetivo variado a la instalación de energía eólica objetivo 2 (etapa 409), y se hace funcionar con este segundo juego (etapa 411). Los intervalos de tiempo de medición son cada vez de 10 minutos. Después del transcurso de un segundo intervalo de tiempo de medición se consultan los resultados de funcionamiento $E_Z(t2)$ que se han obtenido con el segundo juego, además, se consultan los resultados de funcionamiento $E_R(t2)$ conseguidos en este intervalo de tiempo por la instalación de energía eólica de referencia (etapa 413). Estos resultados de funcionamiento del segundo intervalo de tiempo de medición se almacenan igualmente temporalmente. Ahora se constituye una primera medida de calidad parcial para la magnitud objetivo deseada a partir de los resultados de funcionamiento de la instalación de energía eólica objetivo 2 (etapa 415), en tanto que se ponen en relación valores medios de 10 minutos (éstos se forman en general de todos modos por el control 17 y por ello están a disposición sin coste adicional) de los dos resultados de funcionamiento $E_Z(t1)$, $E_Z(t2)$ mediante la formación de un cociente. Correspondientemente el elemento de validación 54 procede con los resultados de referencia de la instalación de energía eólica de referencia; de ello se forma una segunda medida de calidad parcial como medida de validación (etapa 417). Las fluctuaciones del viento durante los dos intervalos de tiempo de medición, que podrían provocar un falseamiento de la medida de calidad, se interceptan por la medida de valoración. De esta manera se realiza una depuración de la medida de calidad de las influencias que no se basan en las desviaciones de parámetros, sino de influencias estocásticas, en particular del viento.

Si la medida de validación presenta un valor muy elevado o bajo fuera de los umbrales de validación ajustables, entonces serían demasiado intensas las fluctuaciones debidas al viento durante los dos intervalos de tiempo, como para que todavía hubiera una comparabilidad. El resultado se desecha y el procedimiento se repite. Esta comprobación sigue en un paso opcional 419.

En caso de resultado positivo de la validación se forma una medida de calidad a partir de la medida de calidad parcial. En el caso más sencillo esto puede ser una formación de un cociente de la medida de calidad parcial para el funcionamiento con el primer juego de parámetros y con el segundo juego de parámetros (etapa 420). Por consiguiente se puede determinar si mediante la variación del parámetro de funcionamiento en una instalación de energía eólica objetivo 2 se ha conseguido una mejora o un empeoramiento. A medida que se mantiene el parámetro de funcionamiento en cuestión o se modifica más, el resultado se almacena eventualmente para la siguiente etapa de optimización. Para ello se pueden usar procedimientos de optimización conocidos en sí. El proceso se repite (retroceso 423) hasta que se alcanza un criterio de

interrupción (etapa 421). El criterio de interrupción es, por ejemplo, la consecución de un valor umbral ϵ determinado y/o un número de repeticiones.

Como valor umbral puede servir, por ejemplo, un cambio de la medida de calidad "rendimiento energético" de menos de 0,1% tras más de diez intervalos de medición de 10 minutos valorados.

5 En las etapas 405 y 413 puede estar prevista opcionalmente una consulta de los valores límite (por ejemplo, si la potencia o velocidad de rotación estuvieron en el rango permitido y/o se ha mantenido el ratio de velocidad de punta óptimo), con cuya superación se desechan los respectivos valores obtenidos y se repite la etapa del funcionamiento de las instalaciones de energía eólica y la consulta. Para ello entonces puede estar previsto un retroceso a las etapas 403 o 411.

10 La magnitud objetivo a optimizar es aquí el rendimiento de la energía eléctrica ganada. En este caso se puede conseguir la formación de la medida de calidad en la etapa 415 de forma especialmente sencilla y con poco coste. Por ejemplo, esto se puede realizar mediante adición de la potencia eléctrica generada por las instalaciones de energía eólica respecto la energía eléctrica entregada. Esto se puede realizar igualmente mediante un dispositivo especial (contador de kilowattioshora). En este caso se puede recurrir igualmente a los dispositivos presentes de la instalación de energía eólica. Pero también se pueden optimizar otras magnitudes objetivo, por ejemplo, la emisión de ruidos, la compatibilidad con la red de la potencia eléctrica generada, la sollicitación de las máquinas o el comportamiento vibracional. En este caso también se recurre a medidas de calidad más costosas que tienen en cuenta varios parámetros, por ejemplo, adicionalmente todavía la emisión de ruidos o sollicitación de las máquinas.

20 Los intervalos de tiempo de medición para el funcionamiento con los parámetros de funcionamiento se puede predeterminar de forma diferente, por ejemplo, 10 minutos para ángulo de pala o curva característica de par, menos minutos -10 minutos para parámetros de regulación, algunos segundos hasta minutos en parámetros del convertidor de frecuencia que influyen, por ejemplo, en la compatibilidad con la red. El tiempo y el número de intervalos de medición se eligen de modo que existe una seguridad suficiente de los resultados de medición. Cuanto más complejas son las condiciones límite (por ejemplo, terreno accidentado, distribución de la instalación irregular, viento muy turbulento) tano más tiempo se debe medir para poder valorar el efecto de la variación de parámetros.

25 Además, se explica un ejemplo numérico para la variación del ángulo de pala como parámetro de funcionamiento variante. La magnitud objetivo a optimizar es la potencia entregada y el rendimiento energético es determinante para la medida de calidad.

El ejemplo es una variación del ángulo de pala en el rango de carga parcial de 1,0 grado, en caso de viento que se vuelve más débil por casualidad:

30 Intervalo de tiempo de medición 1, ángulo de pala de la instalación de energía eólica objetivo 0,3 grados:

$$E_Z(t1) = 43kWh \quad E_R(t1) = 51kWh$$

Intervalo de tiempo de medición 2, ángulo de pala de instalación de energía eólica objetivo = 1,3 grados:

$$E_Z(t2) = 38kWh \quad E_R(t2) = 44kWh.$$

Medidas de calidad parciales:

$$\Gamma_Z = \frac{38}{43} = 0,884 \quad \Gamma_R = \frac{44}{51} = 0,863$$

35

Medida de validación se forma a partir de

$$\frac{E_R(t2)}{E_R(t1)} = 0,863$$

El umbral de validación: máx. 30% desviación, es decir,

0,7 < medida de valoración < 1,3 → O.K.

Formación de medida de calidad principal r por formación de cociente:

$$\Gamma = \left(\frac{\Gamma_Z}{\Gamma_R} - 1 \right) = 0,024 .$$

5 Resultados positivos significan una mejora de la calidad, negativos un empeoramiento. Esto significa que el rendimiento se ha mejorado en un 2,4%, depurado respecto a la influencia del viento, en el 2º intervalo de tiempo de medición por la variación del ángulo de pala.

10 En instalaciones totalmente idénticas se puede realizar el procedimiento de cálculo sencillo, arriba explicado también para otras magnitudes físicas, por ejemplo, solicitaciones de funcionamiento. Las medidas de calidad parciales se pueden formar como cocientes de las cargas equivalentes de daños (DEL) que se pueden determinar, según se conoce suficientemente en el estado de la técnica, por ejemplo, a través del procedimiento Online-Rainflow-Count a partir de las series de tiempo de solicitación medidas. No obstante, si son diferentes las instalaciones sólo se puede trabajar de forma razonable con medidas de calidad multidimensionales. Debido al ejemplo arriba mencionado todavía se explica otro en el que no se debe mejorar sólo unidimensionalmente el rendimiento, sino que se debe formar una medida de calidad multidimensional, en el ejemplo bidimensional teniendo en cuenta adicionalmente la solicitación de las máquinas (DEL = damage equivalente lad). Ante todo, si la instalación de energía eólica objetivo y la instalación de energía eólica de referencia son de tipos diferentes, se ofrece el tener en cuenta la DEL en una etapa intermedia a fin de que se pueda tener en cuenta correspondientemente la solicitación de la instalación de energía eólica en la constitución de la medida de calidad. Por ello se necesitan adicionalmente como parámetros la solicitación de las máquinas de la instalación de energía eólica objetivo durante los dos intervalos de tiempo de medición DEL_Z (t1) y DEL_Z (t2). Por lo demás se recurre a los parámetros del ejemplo anterior.

Mejora del rendimiento depurada respecto a fluctuaciones aleatorias

$$\Delta E = \frac{E_Z(t2)}{E_R(t2)} \cdot \frac{E_R(t1)}{E_Z(t1)} , \text{ p. e. } 2,4\% . \text{ (Véase arriba)}$$

Cambio de solicitación relativa

$$\Delta L = \frac{DEL_Z(t2) - DEL_Z(t1)}{DEL_Z(t1)} , \text{ p. e. } 1,3\%$$

25 De ello se forma una medida de calidad principal multidimensional:

$$\Gamma = f (\Delta L, \Delta E) .$$

En este caso *f* es una función específica de la instalación y emplazamiento para la unión del aumento de la solicitación con la mejora del rendimiento.

30 Dicho sencillamente la medida de calidad principal tiene que valorar si en el ejemplo arriba mencionado una mejora de rendimiento de 2,4% con un aumento simultáneo de la solicitación de la instalación de 1,3% representa una mejora global, o si el aumento de solicitación es nocivo de manera es más ventajosa una renuncia al rendimiento suplementario.

35 En la fig. 6 está representado otro ejemplo de aplicación. Aquí en un parque eólico están colocadas en una fila seis instalaciones de energía eólica. Se asume que el viento sopla esencialmente transversalmente a la fila. Para la realización más rápida del procedimiento de optimización según la invención se puede aplicar, supuesto tipo de máquina comparable, etc., al mismo tiempo sobre varias instalaciones de energía eólica objetivo (grupo I). Las instalaciones de energía eólica restantes en la fila se determinan como instalaciones de energía eólica de referencia. Forman el grupo II.

Durante el transcurso del procedimiento de optimización según la invención se supervisa y detecta ahora el funcionamiento de todas las instalaciones de energía eólica. Esto tiene la ventaja de que, condicionado por el gran número de instalaciones de energía eólica detectadas, es suficiente con frecuencia ya un funcionamiento realmente corto para poder valorar el efecto de las variaciones de los parámetros de funcionamiento. En lugar de varios valores medios de 10 minutos es suficiente con frecuente detectar sólo un valor medio de 10 minutos semejante. La determinación de fluctuaciones aleatorias realizada de lo contrario durante el intervalo se realiza en este caso por la detección de un número mayor de instalaciones de energía eólica. Por consiguiente un parque eólico con un número proporcionalmente grande de instalaciones de energía eólica también se puede someter rápidamente al procedimiento de optimización según la invención.

En la fig. 6 está representado además que las instalaciones de energía eólica objetivo del grupo I se hacen funcionar con diferentes valores para el parámetro objetivo a optimizar. Éstos están simbolizados en el eje de coordenadas. Para un parámetro objetivo ZP está representado el respectivo valor ajustado en una de las instalaciones de energía eólica objetivo con una cruz. Las instalaciones de energía eólica objetivo se hacen funcionar comenzando por la izquierda con un valor fuertemente aumentado, uno parcialmente aumentado y uno reducido para esta magnitud objetivo. El valor con el que se hace funcionar la instalación de energía eólica de referencia está representado por un círculo. Con el procedimiento de optimización según la invención se puede valorar ahora rápidamente si el valor original, según se usa por la instalación de energía eólica de referencia, es óptimo o en que dirección y que cantidad se debe seguir la búsqueda de un valor óptimo. Si se ha encontrado el valor óptimo, entonces se puede seguir el procedimiento según la invención aplicado sobre otro parámetro de funcionamiento.

La inclusión de varias instalaciones de energía eólica de referencia en un grupo (grupo II) tiene además la ventaja de que se puede realizar un reglaje de las instalaciones de energía eólica de referencia entre sí. De esta manera se pueden determinar y eventualmente eliminar los valores atípicos, de modo que la calidad de la referencia también permanece en tales casos. Esto tiene importancia en particular en aquellos casos cuando en una optimización que se realiza sucesivamente, como aquella en un parque eólico, se ha optimizado una instalación de energía eólica de referencia antes que la instalación de energía eólica objetivo, modificándose los parámetros. En casos desfavorables puede ocurrir que la instalación "se ha ajustado" de modo que ya no es apropiada para el uso como instalación de energía eólica de referencia. Esto se puede reconocer mediante una formación de grupos semejante.

En la fig. 7 está representado un ejemplo de realización en el que se debe optimizar una instalación de energía eólica 2' individual que no es parte de un parque eólico. Para que se pueda realizar el procedimiento según la invención es necesaria una instalación de energía eólica de referencia 1'. No debe estar conectado con la instalación de energía eólica objetivo 2' a optimizar formando un parque eólico, es suficiente que esté dispuesta en las proximidades. Cuanto mayor sea la concordancia en las condiciones intrínsecas y extrínsecas, tanto mayor es la idoneidad como instalación de energía eólica de referencia 1'. Es suficiente que sólo exista un acceso de lectura sobre resultados de funcionamiento o parámetros de funcionamiento sincronizados temporalmente de la instalación de energía eólica de referencia 1'. Éstos se transfieren mediante un dispositivo de transferencia apropiado a la instalación de energía eólica objetivo 2'. Ésta puede realizar luego la optimización por lo demás de forma autónoma. Un acceso activo a la instalación de energía eólica de referencia 1' no es necesario en el procedimiento de optimización según la invención. El dispositivo de transmisión puede estar configurado, por ejemplo, como un enlace de radio con las antenas 17' y 56'. Por consiguiente se hace posible usar una instalación piloto en un emplazamiento escogida como instalación de energía eólica de referencia para una multiplicidad de instalaciones de energía eólica circundantes, operadas individualmente. Cuanto mayor es la separación espacial tanto más largos son los intervalos de tiempo de medición necesarios para excluir las fluctuaciones del viento estocásticas.

En la fig. 4 está representada una matriz de evaluación \underline{E} . En las filas están previstas las entradas para las instalaciones de energía eólica 1 a 4 a optimizar. En las columnas están introducidas las instalaciones de energía eólica en cuestión como instalación de energía eólica de referencia. En el ejemplo de realización representado esto son las instalaciones 1 a 4, según se representa en la fig. 3, así como otras dos instalaciones de energía eólica P1 y P2. Éstas no son parte del parque eólica a optimizar (y por ello no están representadas), sino que son instalaciones de energía eólica operadas por separado, en las que sólo existe un acceso pasivo para la lectura de parámetros y resultados de funcionamiento. La diagonal de la matriz de evaluación presenta valores nulos. Esto significa que una instalación no se puede usar para sí misma como instalación de energía eólica de referencia. En las celdas restantes de la matriz están introducidos vectores. El vector comprende valores vectoriales para las condiciones intrínsecas y extrínsecas. La matriz de evaluación contiene en el caso más sencillo una calidad de referencia (por ejemplo, 0 – 100 puntos) para diferentes sectores de dirección del viento (por ejemplo, sectores de 10 grados). La calidad de referencia se puede estimar por especialistas experimentados. En caso de una automatización se calcula la calidad de referencia mediante una multiplicidad de parámetros por el control. Algunos de los factores de influencia más importantes son: intrínsecos: diámetro de rotor, altura de buje, potencia de la instalación, concepto de la regulación, variante de la instalación, antigüedad de la instalación, etc. Extrínsecos: posición de las instalaciones unas respecto a otras, posición e influencia de obstáculos orográficos, datos de las condiciones locales de circulación (velocidad y dirección del viento, gradiente de viento, intensidad de la turbulencia, ...)

etc.

5 Una matriz de corrección K presenta una estructura similar, sin embargo, aquí las instalaciones de energía eólica de referencia están dispuestas en una fila y las instalaciones de energía eólica objetivo en las columnas. Un ejemplo está representado en la fig. 5. La matriz de corrección presenta en el caso más sencillo factores de corrección para diferentes sectores de la dirección del viento. El valor de corrección asignable a cada calidad de referencia tiene en cuenta, por ejemplo, la experiencia empírica sobre la calidad de referencia a partir de optimizaciones más antiguas que se determinan, por ejemplo, por comparación con otras instalaciones de referencia. Los valores atípicos arriba mencionados en grupos de instalaciones de referencia se ocuparían, por ejemplo, con un valor de corrección que disminuye fuertemente la calidad de referencia.

10

REIVINDICACIONES

5 1.- Procedimiento para la optimización del funcionamiento de instalaciones de energía eólica, que comprenden respectivamente un rotor (13), un generador (14) accionado por éste para la generación de energía eléctrica y un control (17) que hace funcionar la instalación de energía eólica correspondiente mediante un juego de parámetros de funcionamiento, y una de las instalaciones de energía eólica se usa como instalación de energía eólica objetivo y una segunda de las instalaciones de energía eólica como instalación de energía eólica de referencia,

caracterizado por

10 el funcionamiento (404) de la instalación de energía eólica objetivo (2) que se ha de optimizar en primer lugar con un primer juego de parámetros de funcionamiento y luego con un segundo juego de parámetros de funcionamiento diferente del primer juego,

la detección (405) de las magnitudes objetivo de la instalación de energía eólica objetivo (2), siendo las magnitudes objetivo variables del sistema, y de los resultados de referencia de la instalación de energía eólica de referencia (1) respectivamente para ambos juegos de parámetros de funcionamiento,

15 la evaluación (406) automatizada de las magnitudes objetivo mediante el cálculo de una medida de calidad teniendo en cuenta los resultados de referencia, y

la determinación (407) automatizada del juego de parámetros de funcionamiento con la mejor medida de calidad.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1,

caracterizada por

20 el uso de la potencia entregada para la magnitud objetivo y el rendimiento de la energía eléctrica para la medida de calidad.

3.- Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2,

caracterizado por

la variación de los parámetros de funcionamiento (402) de modo que se forman el primer juego y el segundo juego diferente de parámetros de funcionamiento.

25 4.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por

la variación de los parámetros de funcionamiento para un ángulo de pala, una curva característica de velocidad de rotación – momento de giro o un decalado de un sensor de dirección del viento.

5.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

30 **caracterizado por**

la no variación de los parámetros de funcionamiento de la instalación de energía eólica de referencia (1).

6.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por

35 la consulta (102) de una matriz de evaluación (E) para la validación de la instalación de energía eólica de referencia (1), estando contenidos en la matriz de evaluación (E) los elementos para las diferentes combinaciones de las instalaciones de energía eólica objetivo y de referencia (2, 1).

7.- Procedimiento según la reivindicación 6,

caracterizado porque

la matriz de evaluación (E) presenta vectores como elementos.

40 8.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 ó 7,

caracterizado porque

está prevista una matriz de corrección (K) para la matriz de evaluación.

9.- Procedimiento según la reivindicación 8,

caracterizado por

la realización de un procedimiento autoadaptativo para la determinación de la matriz de corrección (K).

5 10.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por

la determinación (103) automática de la instalación de energía eólica de referencia (1), recurriéndose preferentemente a la matriz de evaluación (E) para la determinación.

11.- Procedimiento según la reivindicación 10,

10 **caracterizado por**

el uso de condiciones estáticas y dinámicas para la determinación (103) automatizada de la instalación de energía eólica de referencia (1).

12.- Procedimiento según la reivindicación 10 u 11,

caracterizado por

15 el uso de condiciones intrínsecas para la determinación (103) automatizada de la instalación de energía eólica de referencia (1).

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

caracterizado por

20 el uso de condiciones extrínsecas para la determinación (103) automatizada de la instalación de energía eólica de referencia (1).

14.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por

el uso de los grupos (I, II) de instalaciones de energía eólica para la instalación de energía eólica objetivo y/o la instalación de energía eólica de referencia.

25 15.- Procedimiento según la reivindicación 14,

caracterizado por

la comparación de las instalaciones de energía eólica en un grupo y la detección así como eliminación de valores atípicos en el grupo.

16.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 ó 15,

30 **caracterizado por**

la determinación de juegos diferentes de parámetros de funcionamiento para las instalaciones de energía eólica objetivo de un grupo de manera que se produce un campo de gradiente respecto al parámetro de funcionamiento modificado.

35 17.- Instalación de energía eólica con un rotor (13), un generador (14) accionado por éste para la generación de energía eléctrica y un control (17) que está configurado para el funcionamiento de la instalación de energía eólica mediante un juego de parámetros de funcionamiento,

caracterizada porque

el control (17) presenta un dispositivo de transmisión para una conexión con una instalación de energía eólica de referencia y está previsto un módulo de optimización (51) para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 16.

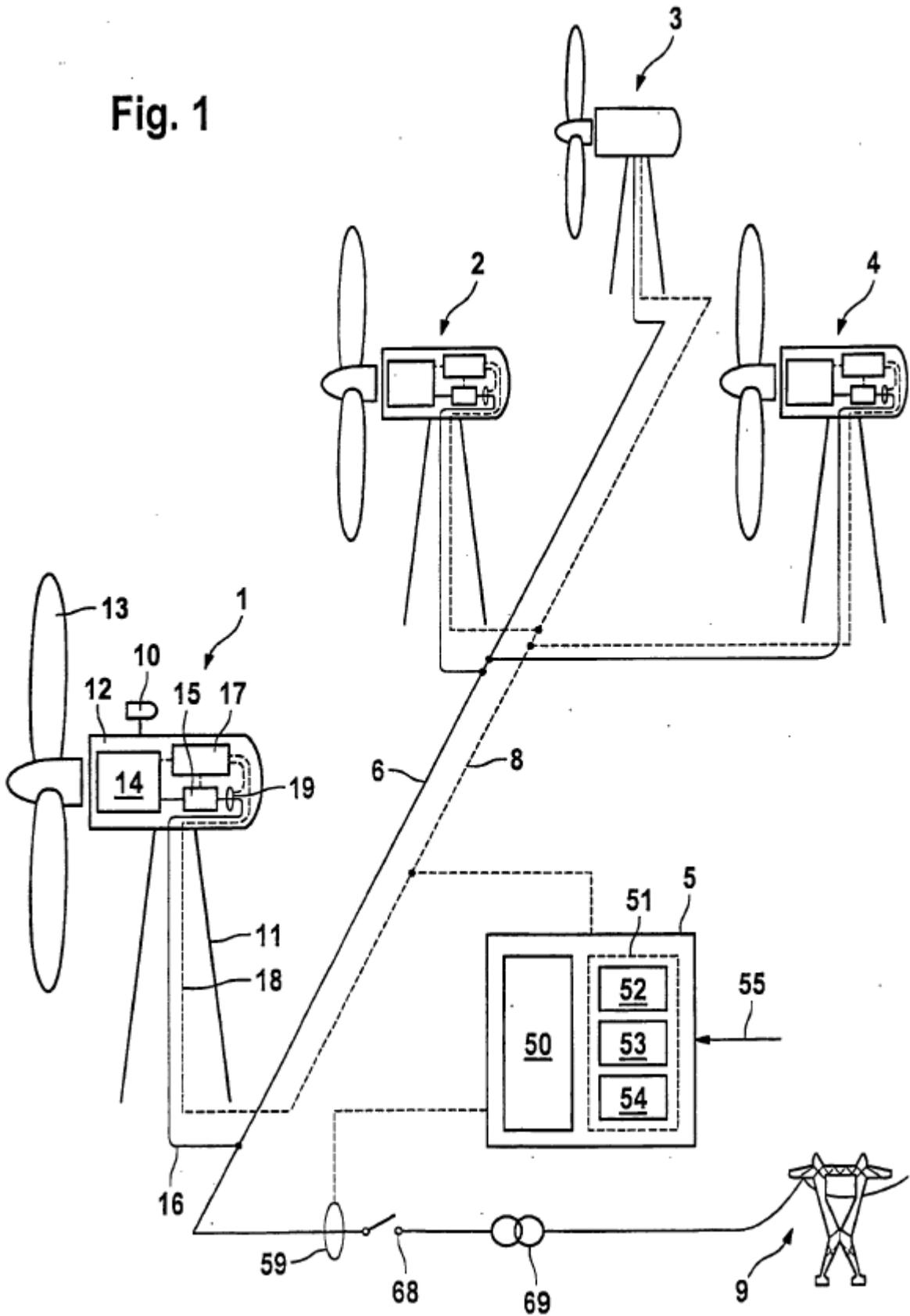
40 18.- Parque eólico con varias instalaciones de energía eólica, que comprenden respectivamente un rotor (13), un

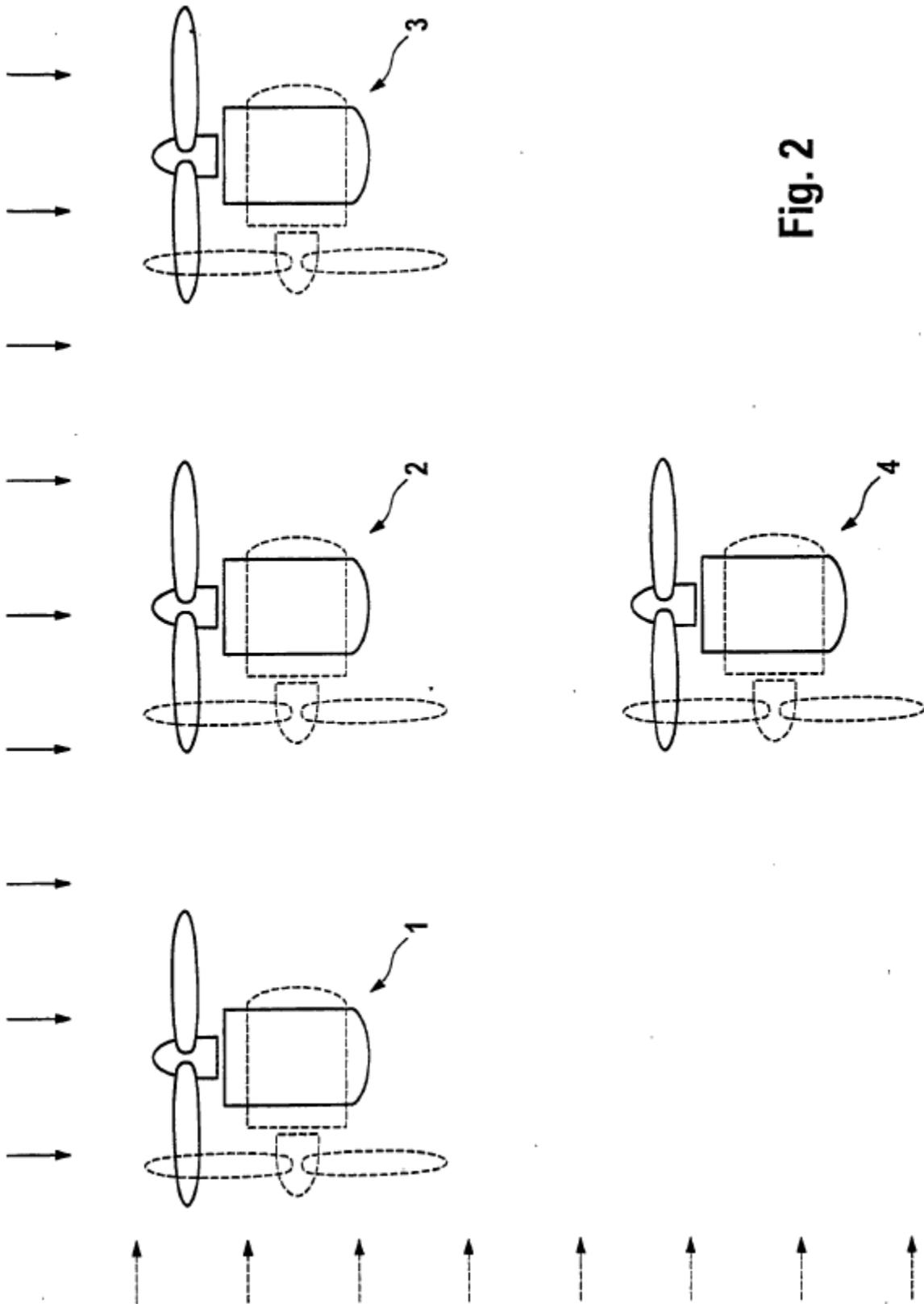
generador (14) accionado por éste para la generación de energía eléctrica y un control (17) que está configurado para el funcionamiento de la instalación de energía eólica correspondiente mediante un juego de parámetros de funcionamiento, y está previsto un maestro de parque (5) con función de control para las instalaciones de energía eólica,

caracterizado porque

- 5 el maestro de parque (5) presenta un módulo de optimización (51) para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 16.

Fig. 1





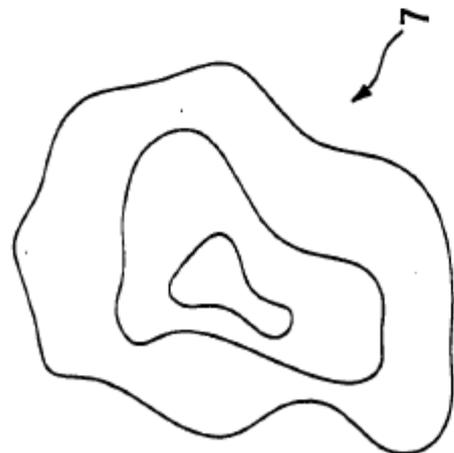
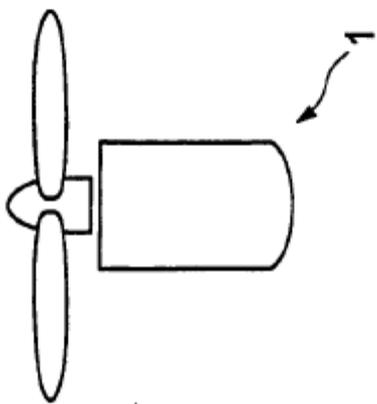
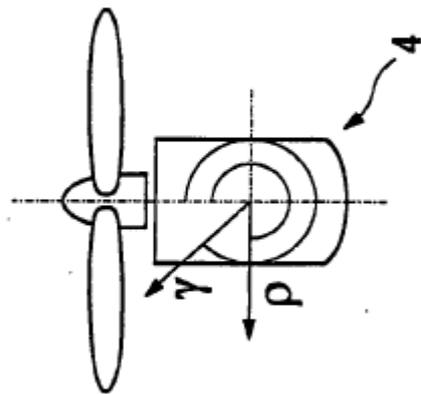
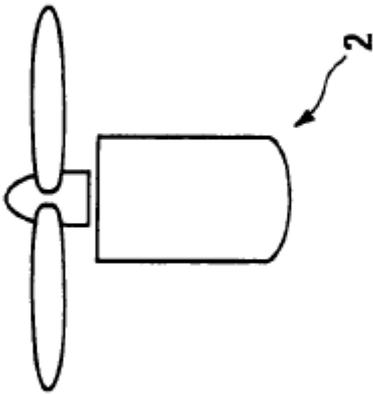
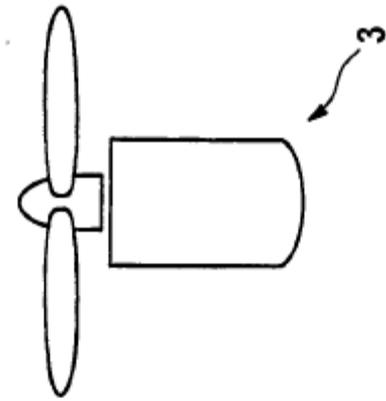
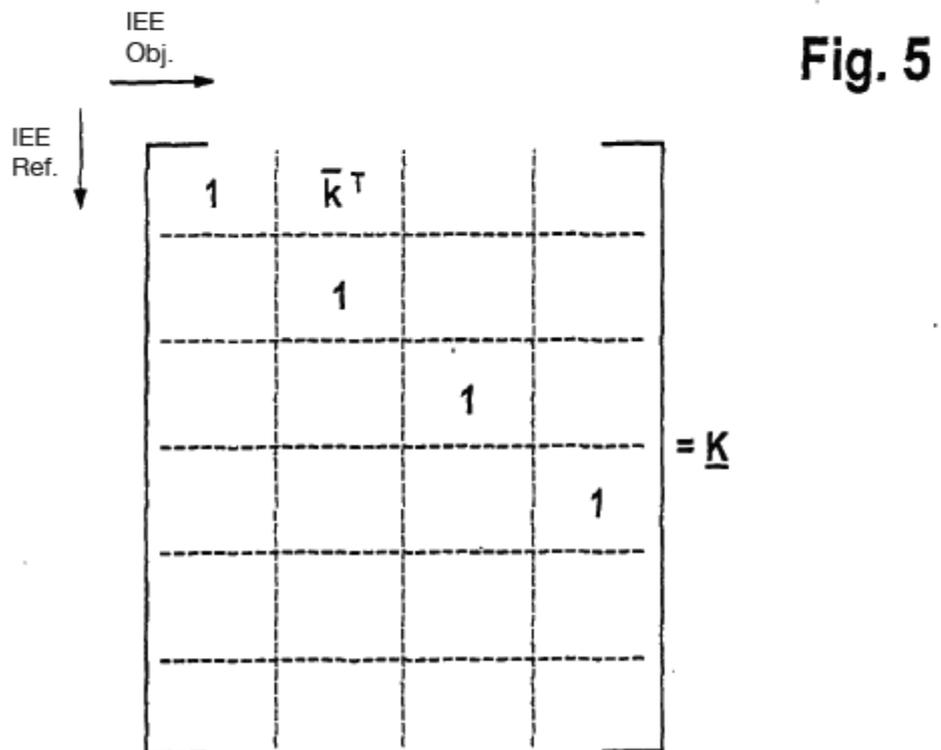
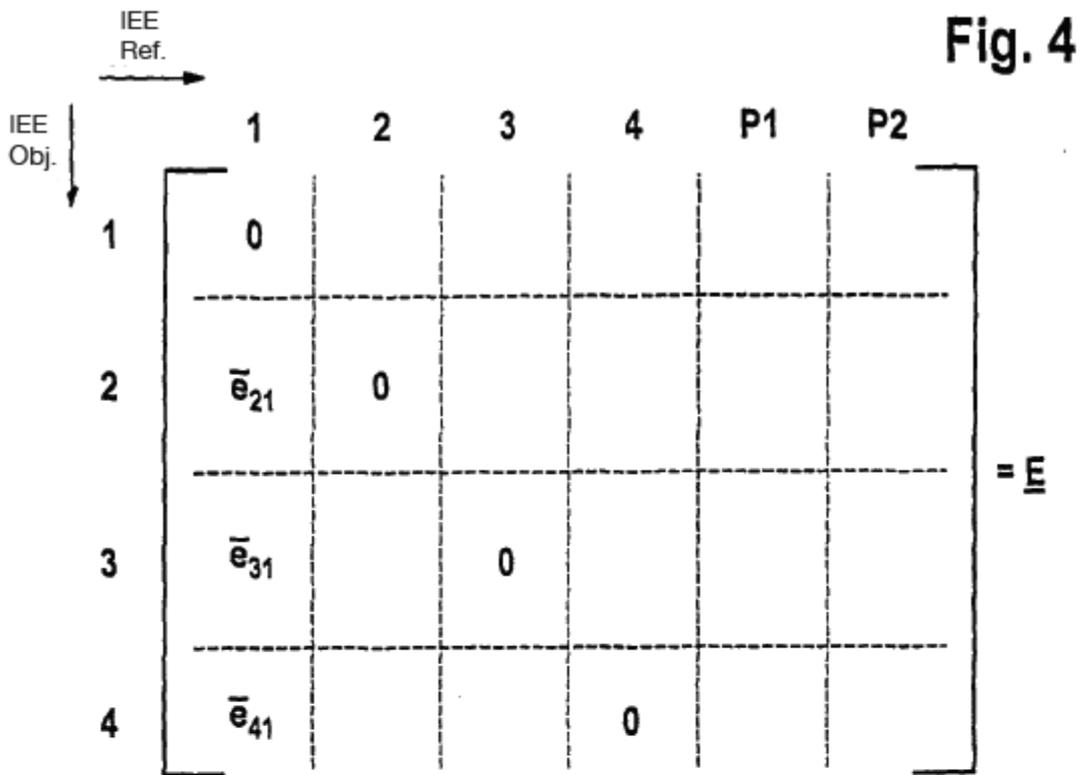


Fig. 3



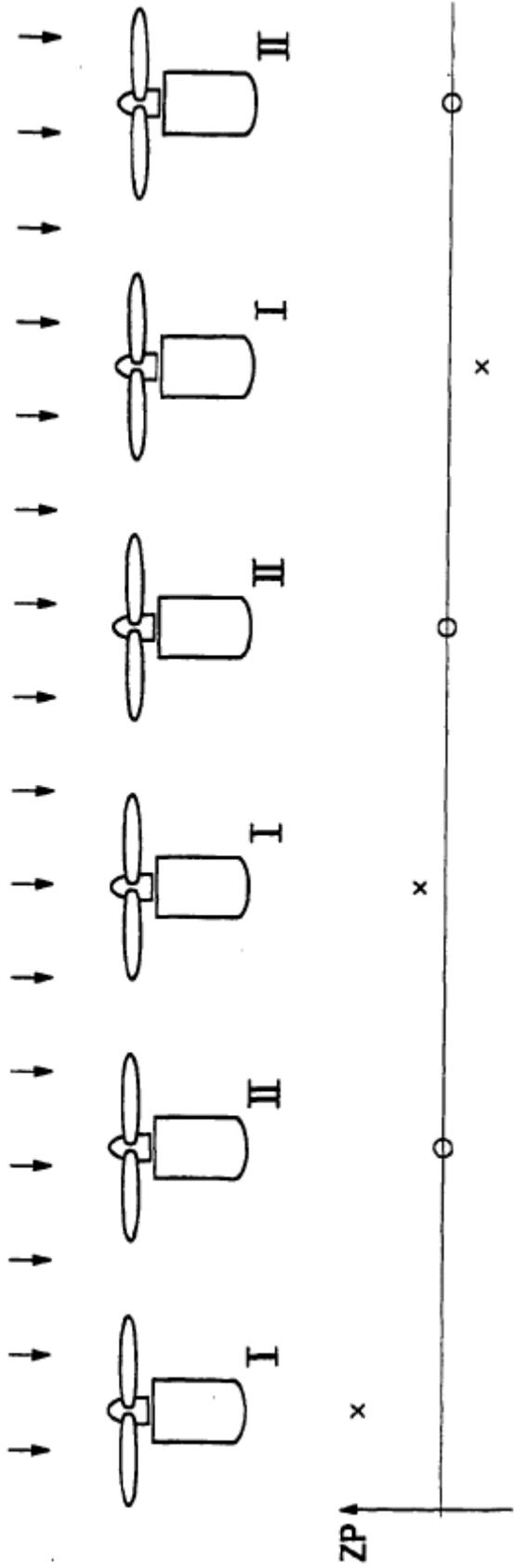


Fig. 6

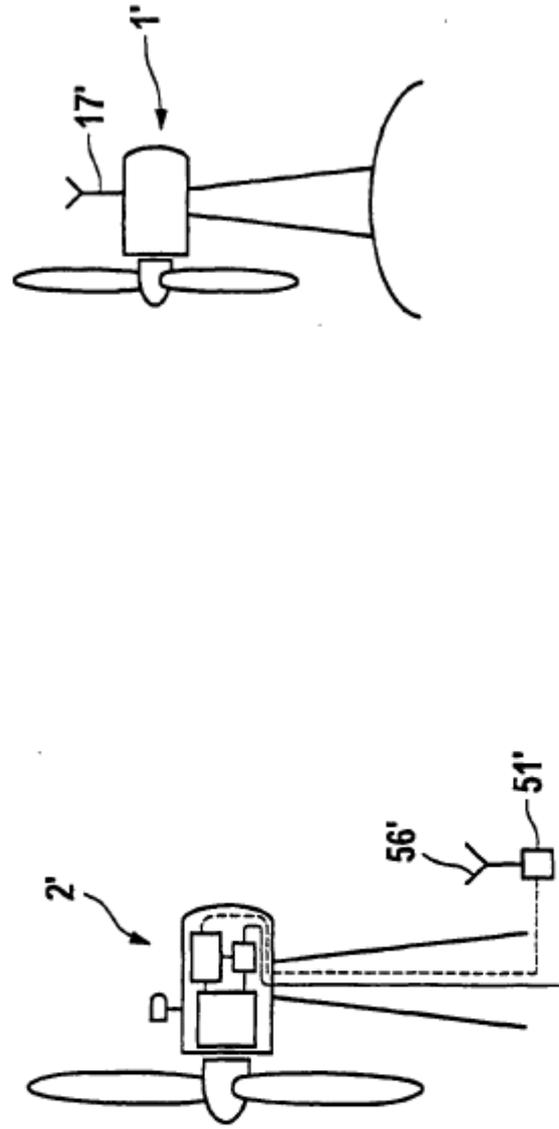


Fig. 7

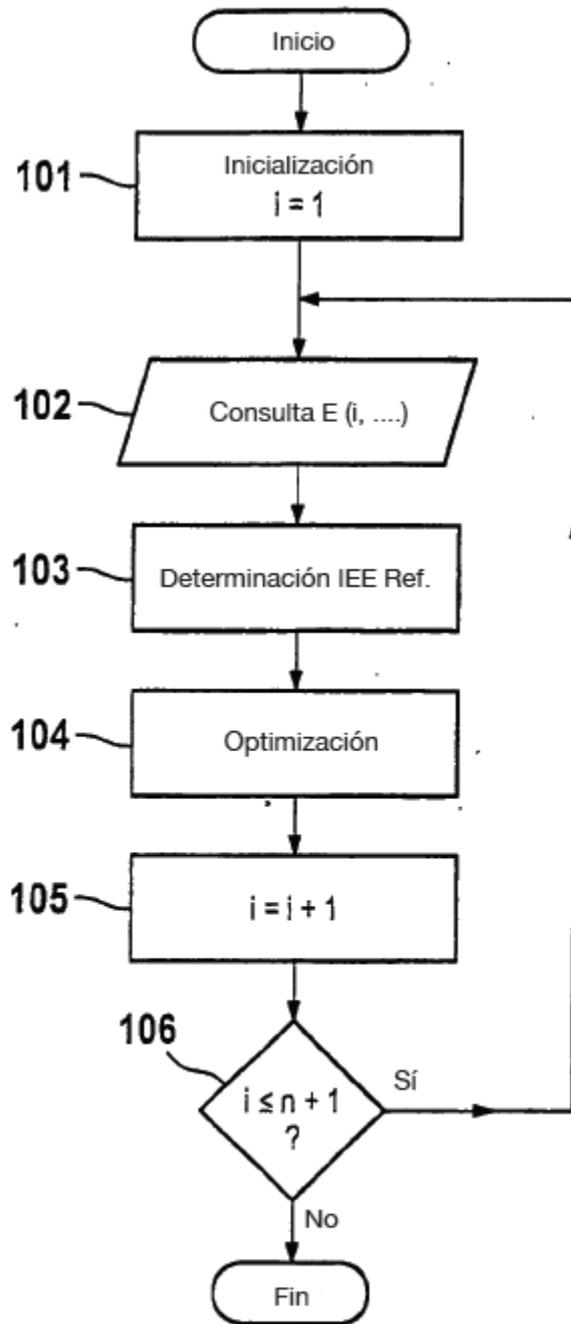


Fig. 8

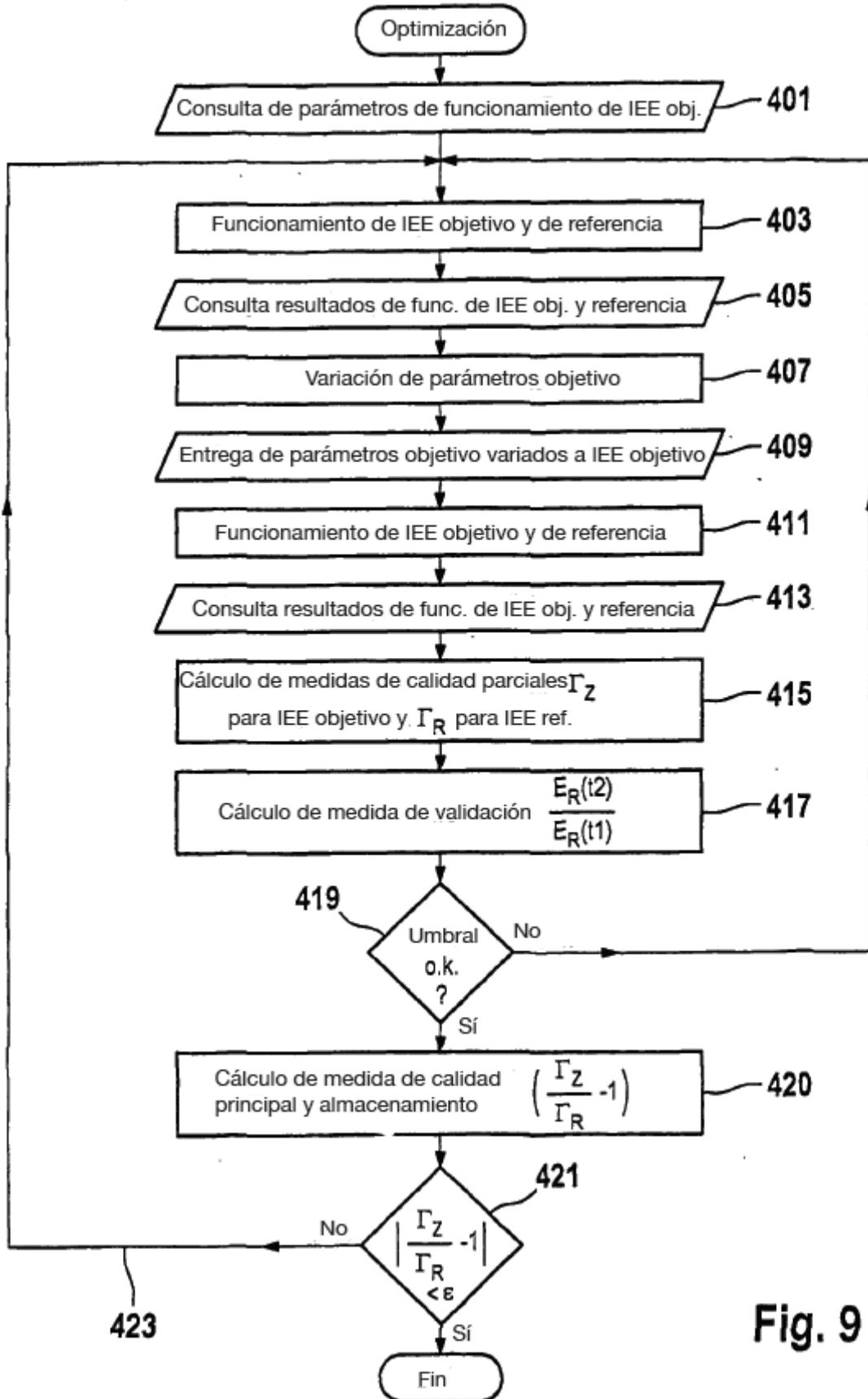


Fig. 9