

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 217**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

**G05B 13/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2008 PCT/DK2008/000448**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2017 WO09080036**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2008 E 08865302 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 2232343**

54 Título: **Método para controlar una salida común de al menos dos turbinas eólicas, un sistema de control de turbina eólica central, un parque eólico y un grupo de parques eólicos**

30 Prioridad:

**20.12.2007 DK 200701871**  
**20.12.2007 US 15451**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.12.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KJÆR, PHILIP RICHARD JACOBSEN CARNE y**  
**GARCIA, JORGE MARTINEZ**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 647 217 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**

Método para controlar una salida común de al menos dos turbinas eólicas, un sistema de control de turbina eólica central, un parque eólico y un grupo de parques eólicos

**Antecedentes de la invención**

5 La invención se refiere a un método para controlar una salida común de al menos dos turbinas eólicas. Además la invención se refiere a un sistema de control de turbina eólica central, un parque eólico y un grupo de turbinas eólicas.

**Descripción de la técnica relacionada**

10 Parques eólicos que comprenden múltiples turbinas eólicas se usan frecuentemente para dar soporte a la estabilidad de la red eléctrica, tanto por cumplir con los códigos de red establecidos como por considerarse como una central eléctrica ajustable y unificada y suministran de manera controlable a la red eléctrica por ejemplo corriente activa, corriente reactiva, etc. De ese modo el operador de la red eléctrica tiene la posibilidad de mejorar la estabilidad y eficiencia de la red eléctrica.

15 Dentro del parque eólico las turbinas se controlan por un sistema de control de parque eólico. La solicitud de patente europea EP1790851 describe un método para controlar un parque eólico que comprende una unidad central de procesamiento y control acoplada a las turbinas eólicas. Se reciben datos de al menos una turbina eólica aguas arriba para predecir el impacto de carga en las turbinas eólicas aguas abajo de la misma. Además, se transmiten unas señales de control para o bien reducir la potencia de turbinas aguas abajo o bien reducir la velocidad de turbinas eólicas aguas arriba.

20 Un problema con la técnica anterior descrita es que la estrategia de control solo tiene en cuenta reducir el esfuerzo en filas de turbinas eólicas reduciendo la velocidad o la potencia.

Un objetivo de la presente invención es disponer de un método ventajoso para controlar valores de funcionamiento de una salida común de al menos dos turbinas eólicas.

**La invención**

25 La invención se refiere a un método para controlar una salida común de al menos dos turbinas eólicas que comprende las etapas de:

- recibir en un sistema de control de turbina eólica central
  - al menos un valor de consigna de un parámetro de consigna de un operador de la red eléctrica, y
  - al menos un valor de funcionamiento de un parámetro de funcionamiento de al menos una de dichas turbinas eólicas,

30 - establecer una ecuación de función de costes que comprende al menos una variable de función que refleja un parámetro de funcionamiento de dichas turbinas eólicas y dicho parámetro de consigna recibido,

- resolver la ecuación de función de costes con respecto a dicha al menos una variable de función para encontrar un valor extremo para dicha función de costes,

35 - calcular valores de consigna de parámetros de funcionamiento ponderados para cada una de dichas turbinas eólicas a partir de la solución obtenida, y

- controlar al menos una de dichas turbinas eólicas en relación con dichos valores de consigna de parámetros de funcionamiento ponderados.

40 Por el término salida común se entiende la salida total producida por dichas al menos dos turbinas eólicas e inyectada en una red tal como una red eléctrica en un punto común tal como un punto de conexión común PCC.

Por el término valores de consigna de parámetros de funcionamiento ponderados se entienden valores de control individuales para cada una de dichas turbinas eólicas, pudiendo o no ser dichos valores de control valores idénticos.

45 Por la invención se asegura que valores de consigna de control diferenciados, es decir valores de consigna de control ponderados para un parámetro de funcionamiento arbitrario, pueden distribuirse a diferentes turbinas eólicas individuales en un grupo de turbinas eólicas, con el efecto de que cada una de dichas turbinas eólicas puede funcionar a diferentes valores de consigna para el mismo parámetro de funcionamiento.

De este modo se asegura que un valor de consigna recibido de un operador de la red puede distribuirse a cada una o algunas de las turbinas eólicas en el grupo para que cada turbina eólica produzca una parte del valor

solicitado, y que la parte que cada turbina eólica produce se pondera según una función de costes optimizada, dando la distribución óptima.

Se logra además que la salida total de dichas al menos dos turbinas eólicas en dicha salida común se mantiene en el nivel de consigna recibido a pesar de que las al menos dos turbinas eólicas no producen la misma salida.

- 5 También se asegura que, dependiendo de varios parámetros, cada turbina eólica individual puede contribuir a la producción de una demanda de salida total, con diferentes contribuciones parciales.

10 En una primera realización de la invención, la suma del conjunto de dichos valores de consigna de parámetros de funcionamiento ponderados es sustancialmente igual a dicho valor de consigna de un parámetro de consigna de un operador de la red eléctrica. De este modo se asegura que la salida común de las turbinas eólicas influenciadas en relación con el parámetro de funcionamiento es sustancialmente igual al valor de consigna del mismo parámetro de funcionamiento tal como se recibió de un operador de la red eléctrica.

15 En una realización preferida de la primera realización, dicho parámetro de consigna es corriente reactiva. De este modo se asegura que puede optimizarse dicha función de costes por ejemplo en relación con minimizar la pérdida de potencia en cables de transmisión, por ejemplo dentro de un parque eólico por la corriente reactiva producida por las turbinas eólicas. Como ejemplo, si las turbinas eólicas conectadas a la red de transmisión dentro del parque eólico que tienen las líneas de transmisión más largas hasta un PCC se ajustan para producir menos corriente reactiva cuantificada que las turbinas eólicas más cercanas al PCC, el parque eólico en su conjunto producirá la corriente reactiva requerida tal como estableció el operador de la red, pero la pérdida de potencia en los cables de transmisión se minimiza, por ejemplo, en comparación con si todas las turbinas eólicas se ajustan para producir la misma cantidad de corriente reactiva.

20 En un aspecto adicional de la invención, dicha ecuación de función de costes se resuelve por la optimización de mínimos cuadrados. Resolviendo la función de costes por una optimización de mínimos cuadrados se asegura que se usa un método de optimización fiable y bien conocido y un método que no requiere medios computacionales excesivos.

25 En otro aspecto de la invención dicho sistema de control de turbina eólica central recibe además al menos un valor de condición ambiental de un parámetro de condición ambiental y dicha ecuación de función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja dicho parámetro de condición ambiental. Para varias realizaciones de este aspecto, dichos parámetros de condición ambiental pueden ser, por ejemplo, la hora, la configuración del parque, la temperatura del aire, la humedad del aire, las condiciones del viento, etc. De este modo se asegura que el sistema de control de turbina eólica central pueda distribuir señales de control ponderadas a las turbinas eólicas individuales, teniendo en cuenta dichos valores de condición ambiental y optimizar las contribuciones individuales de las turbinas eólicas a la salida común en consecuencia. Se asegura además que si por ejemplo una turbina eólica, por alguna razón, es sensible a incrementos de velocidad del viento, el sistema de control de turbina eólica central puede disminuir la salida de esta turbina eólica para proteger la turbina frente a averías, mientras se incrementa ligeramente la salida de las otras turbinas eólicas conectadas, obteniendo la misma salida común.

35 En aún otro aspecto de la invención, dicho sistema de control de turbina eólica central recibe además al menos un valor de la red eléctrica de un parámetro de la red eléctrica en el PCC y dicha ecuación de función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja dicho parámetro de la red eléctrica. Para varias realizaciones de este aspecto, dicho parámetro de la red eléctrica puede ser, por ejemplo, tensión, corriente activa, corriente reactiva, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia,  $\cos(\phi)$ , calidad de potencia, etc. De este modo se asegura que la salida común de dichas turbinas eólicas se obtiene, por ejemplo, según los valores de consigna recibidos de un operador de la red. Se asegura además que dicho sistema de control de turbina eólica central puede monitorizar cambios en el PCC y, si se desea, controlar individualmente dichas turbinas eólicas en consecuencia.

40 En otro aspecto de la invención, dicho sistema de control de turbina eólica central recibe además al menos un valor de pronóstico de un parámetro de pronóstico y dicha ecuación de función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja dicho parámetro de pronóstico. Para realizaciones de la invención, dichos valores de pronóstico pueden ser por ejemplo valores de pronóstico meteorológico. De este modo el control de las turbinas eólicas conectadas puede predecirse por el sistema de control de turbina eólica central y la turbina eólica individual puede hacerse funcionar en consecuencia.

45 En un aspecto adicional de la invención, dicha función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja los datos almacenados de al menos una tabla de consulta. De este modo se asegura que los datos, tales como datos de turbina eólica, datos de la red, datos ambientales, datos experimentales, etc., obtenidos anteriormente pueden usarse para resolver la ecuación de función de costes.

50 En otro aspecto de la invención, dicha ecuación de función de costes se resuelve de manera sustancialmente continua durante el funcionamiento de dichas al menos dos turbinas eólicas. De este modo se asegura que la ecuación de función de costes está siempre actualizada y que las turbinas eólicas influenciadas se actualizan

siempre por valores de consigna optimizados y siempre están funcionando con ajustes individuales óptimos, incluso sustancialmente justo después de cambios repentinos en las condiciones de funcionamiento.

Otros aspectos de la invención se refieren a un sistema de control de turbina eólica central, un parque eólico y un grupo de parques eólicos.

5 **Figuras**

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

la figura 1 ilustra una turbina eólica grande, moderna y en funcionamiento conocida en la técnica, desde una vista frontal,

10 la figura 2 ilustra esquemáticamente un parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 1 según una realización de técnica conocida,

la figura 3 ilustra esquemáticamente una realización de la presente invención para un parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 1,

la figura 4a ilustra esquemáticamente a modo de ejemplo un parque eólico conocido en la técnica que comprende cinco turbinas eólicas T1 a T5

15 la figura 4b ilustra esquemáticamente a modo de ejemplo un parque eólico según una realización de la invención que comprende cinco turbinas eólicas T1 a T5

**Descripción de la técnica conocida**

20 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1 moderna y en funcionamiento, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 colocada en la parte superior de la torre 2. El rotor de turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina eólica 5, se conecta a la góndola 3 por medio del árbol de baja velocidad el cuál se extiende por fuera de la parte frontal de la góndola 3.

25 La figura 2 ilustra esquemáticamente una pluralidad de turbinas eólicas 1 conectadas según una realización de la técnica conocida. Las turbinas eólicas 1 inyectan energía en la red eléctrica en una conexión de alimentación común frecuentemente llamada el punto de conexión común (PCC) 13 mediante una red de potencia interconectada común para las turbinas eólicas 6.

Para una realización de la invención, dicha pluralidad de turbinas eólicas conectadas comprende al menos dos turbinas eólicas y puede considerarse un parque eólico.

30 Para varias realizaciones de la técnica conocida una unidad de control central 7 recibe valores de consigna 12, por ejemplo de un operador de la red eléctrica y/o recibe datos ambientales 11 tal como velocidad del viento, temperatura, humedad del aire, etc., de medios de medición o de otras fuentes, por ejemplo.

Además la unidad de control 7 puede recibir valores de retroalimentación 10 representativos de valores de la red eléctrica y/o turbinas eólicas realmente conectadas, dichos valores comprenden potencia activa, potencia reactiva, tensión, frecuencia, ángulo de fase, etc.

35 Basándose en la información recibida, la unidad de control 7 procesa comandos de consigna colectivos a las turbinas eólicas 1 y distribuye los valores de dichos comandos de consigna colectivos a cada turbina eólica conectada 1 mediante una conexión de datos de turbina eólica colectiva.

**Descripción detallada de la invención**

40 La figura 3 ilustra esquemáticamente una realización de la presente invención para una pluralidad de turbinas eólicas 1 conectadas. Las turbinas eólicas 1 inyectan energía en la red eléctrica en el PCC 13 mediante una red de potencia interconectada común para las turbinas eólicas 6.

45 Un sistema de control de turbina eólica central 8 recibe al menos un parámetro de control tal como uno o más valores de consigna 12 de un operador de la red eléctrica. Cada turbina eólica 1 individual conectada se conecta al sistema de control de turbina eólica central 8 mediante conexiones de datos 14 para la distribución de datos entre el sistema de control 8 y turbinas eólicas 1 individuales. Para una realización de la invención, dichas conexiones de datos 14 son un sistema SCADA integrado y para otras realizaciones de la invención dichas conexiones de datos son conexiones independientes de datos para transmitir y recibir datos hacia y desde las turbinas eólicas individuales, respectivamente.

50 Según varias realizaciones de la invención, el sistema de control de turbina eólica central 8 calcula valores de consigna individuales de las turbinas eólicas 1 basándose en dicho al menos un parámetro de control recibido tal como uno o más valores de consigna 12 de un operador de la red eléctrica.

En otras realizaciones de la invención, el sistema de control 8 recibe valores de retroalimentación 10 valores representativos de la red eléctrica y/o la salida común de al menos dos turbinas eólicas, dichos valores 10 comprenden potencia activa, potencia reactiva, frecuencia, tensión, ángulo de fase, etc.

5 Para realizaciones adicionales el sistema de control 8 recibe al menos un valor de funcionamiento de al menos una de dichas turbinas eólicas.

Los valores se usan en el cálculo de los valores de control individuales de las turbinas eólicas 1.

En realizaciones adicionales de la invención, el sistema de control 8 recibe además datos ambientales 11 tal como la velocidad del viento, la temperatura, la humedad del aire, etc. de por ejemplo medios de medición u otras fuentes. Los valores 10 se usan en el cálculo de los valores de control individuales de las turbinas eólicas 1.

10 Dichos valores de consigna individuales de las turbinas eólicas 1 son valores ponderados que son resultado de un proceso de procesamiento de datos y cálculo de dicho sistema de control de turbina eólica central 8.

15 Para varias realizaciones de la invención, basándose en datos recibidos (valor de consigna del operador de la red, valor de funcionamiento de las turbinas eólicas, valores de retroalimentación de la red eléctrica y/o la salida común y/o datos ambientales) el sistema de control 8 genera un conjunto de valores de control ponderados para las turbinas eólicas individuales. Los valores de control ponderados controlan la turbina eólica en consecuencia.

Para varias realizaciones los valores de consigna ponderados no son equivalentes para una o más de las turbinas eólicas.

Para varias realizaciones los valores de consigna ponderados son el producto de la multiplicación de más de un valor de subcontrol ponderado.

20 Para varias realizaciones de la invención, los factores de ponderación pueden ser fijos en el tiempo, por ejemplo para compensar parámetros estacionarios tales como variaciones de calibración, variaciones en la potencia nominal de la turbina eólica, etc., o los factores de ponderación pueden ser variables para compensar parámetros dinámicos tal como temperaturas de componentes de turbina eólica, tensiones generados, frecuencia, turbinas desconectadas, ajustes para día/noche, desgaste por tiempo de vida, etc.

25 Para una realización preferida de la invención, los factores de ponderación son fijos en el tiempo para compensar pérdidas de cable en el cableado de red entre las turbinas eólicas individuales, o entre la turbina eólica individual y un punto de conexión común (PCC), por ejemplo.

30 Las figuras 4a y 4b ilustran un ejemplo de la técnica conocida y un ejemplo de valores de consigna de potencia reactiva ponderados individuales para una pluralidad de turbinas eólicas conectadas con el fin de reducir pérdidas de potencia en cables de alimentación.

La figura 4a ilustra esquemáticamente a modo de ejemplo turbinas eólicas conectadas conocidas en la técnica, comprendiendo cinco turbinas eólicas T1 a T5. Las turbinas eólicas inyectan energía en la red eléctrica en algún PCC 13 mediante una red de potencia interna de las turbinas eólicas 6 tal como se describió anteriormente, por ejemplo en la figura 2.

35 Según la técnica conocida, una unidad de control central 7 distribuye un valor de consigna de potencia reactiva colectivo, por ejemplo a cada una de las turbinas eólicas 1 conectadas mediante una conexión de datos de turbina eólica colectiva 14, a la que establece la turbina eólica su producción de potencia reactiva. La corriente que se inyecta en cada turbina eólica es sustancialmente igual, es decir para el presente ejemplo, a un valor arbitrario  $i_Q$ , tal como se indica en la figura. La cantidad total de  $i_Q$  inyectada de las turbinas eólicas conectadas en el PCC es por tanto  $5 * i_Q$ .

El cableado de la red de potencia interconectada de las turbinas eólicas para este ejemplo ilustrativo, por ejemplo entre las turbinas eólicas T1 a T5 y de la turbina eólica T5 al PCC, comprende impedancias de cable Z1-Z5 tal como se muestra en la figura

45 Por consiguiente, la pérdida de potencia debido a la corriente reactiva que fluye a través de las impedancias es proporcional a:

$$P_{\text{pérdida}} = i_Q^2 * (1 * Z1 + 2 * Z2 + 3 * Z3 + 4 * Z4 + 5 * Z5)$$

Suponiendo que  $Z1 = Z2 \dots = Z5 = Z$ , esto lleva a:

$$P_{\text{pérdida}} = i_Q^2 * 15 * Z$$

50 La figura 4b ilustra esquemáticamente a modo de ejemplo, según una realización preferida de la invención, turbinas eólicas conectadas, comprendiendo cinco turbinas eólicas T1 a T5. Un sistema de control de turbina eólica central 8 distribuye valores de consigna ponderados individuales de potencia reactiva por ejemplo a cada

## ES 2 647 217 T3

una de las turbinas eólicas conectadas T1 a T5 mediante una conexión de datos de turbina eólica 14. Las turbinas eólicas individuales establecen su producción de potencia reactiva en consecuencia.

Para una realización los dichos valores ajustados individuales se ponderan para reducir la pérdida de potencia debido a la corriente reactiva que fluye a través de las impedancias Z1 a Z5.

5 Para este ejemplo los factores de dicha ponderación son:

Turbina eólica:	Valor de consigna sin factores de ponderación:	Factor de ponderación:	Valor de consigna con factor de ponderación:
T1	$1 \cdot i_Q$	0	0
T2	$1 \cdot i_Q$	0,5	$0,5 \cdot i_Q$
T3	$1 \cdot i_Q$	1	$i_Q$
T4	$1 \cdot i_Q$	1,5	$1,5 \cdot i_Q$
T5	$1 \cdot i_Q$	2	$2 \cdot i_Q$
Total:	$5 \cdot i_Q$		$5 \cdot i_Q$

Se aprecia que la cantidad total de  $i_Q$  inyectada no cambia, es decir  $5 \cdot i_Q$ , de manera que la misma respuesta se obtiene en el PCC en ambos casos.

El cableado de la red de potencia interna de las turbinas eólicas 6, por ejemplo entre las turbinas eólicas T1 a T5 y de la turbina eólica T5 al PCC, comprende impedancias de cable Z1-Z5 tal como se muestra en figura 4b.

10 Por consiguiente, según el ejemplo la pérdida de potencia debido a la corriente reactiva que fluye a través de las impedancias es proporcional a:

$$P_{Q\text{pérdida}} = i_Q^2 \cdot (0 \cdot Z1 + 0,5 \cdot Z2 + 1,5 \cdot Z3 + 3 \cdot Z4 + 5 \cdot Z5)$$

Como en el ejemplo anterior de la técnica conocida, suponiendo que  $Z1 = Z2 \dots = Z5 = Z$ , esto lleva a:

$$P_{Q\text{pérdida}} = i_Q^2 \cdot 10 \cdot Z$$

15 De este modo se evita una pérdida de energía considerable debido a la pérdida de potencia reactiva.

Para varias realizaciones de la invención, las suposiciones hechas en el ejemplo de las figuras 4a y 4b, donde  $Z1 = Z2 \dots = Z5 = Z$  no son válidas y deben reemplazarse por conocimientos sobre impedancias de cable reales. Además deben reemplazarse valores arbitrarios por valores reales.

20 Para realizaciones adicionales de la invención relacionadas con la minimización de pérdida de potencia reactiva debido al cableado, dicho cableado comprende cableado entre por ejemplo grupos o filas de turbinas eólicas, parques eólicos, grupos de parques eólicos u otros recorridos de cableado definidos de turbinas eólicas, etc.

25 En otro ejemplo de una realización de la invención, una pluralidad de turbinas eólicas conectadas comprende cinco turbinas eólicas T1 a T5. Un sistema de control de turbina eólica central 8 distribuye valores de consigna ponderados individuales de potencia activa por ejemplo para cada una de las turbinas eólicas conectadas T1 a T5 mediante una conexión de datos de turbina eólica 14. Las turbinas eólicas individuales establecen su producción de potencia activa en consecuencia.

30 Para este ejemplo, los dichos valores de consigna individuales se ponderan para minimizar la temperatura de por ejemplo el convertidor de turbina eólica T1 por ejemplo disminuyendo la producción de potencia activa de T1, a medida que una disminución de temperatura se obtiene disminuyendo la corriente aparente de la turbina eólica, que pueden ser potencia reactiva o activa o ambas. Para la regulación de potencia activa, cuando el factor de ponderación calculado es mayor de 1, se necesita un sistema de almacenamiento.

Para este ejemplo los factores de dicha ponderación son:

Turbina eólica:	Valor de consigna sin factores de ponderación:	Factor de ponderación:	Valor de consigna con factor de ponderación:
T1	$1 \cdot P$	0,8	$0,8 \cdot P$
T2	$1 \cdot P$	1,05	$1,05 \cdot P$
T3	$1 \cdot P$	1,05	$1,05 \cdot P$
T4	$1 \cdot P$	1,05	$1,05 \cdot P$
T5	$1 \cdot P$	1,05	$1,05 \cdot P$
Total:	$5 \cdot P$		$5 \cdot P$

35 Tal como se aprecia, la potencia activa total producida para turbinas eólicas conectadas permanecerá sin cambios, es decir  $5 \cdot P$ , pero se altera la contribución individual de cada turbina eólica. El valor de consigna para T1 se reduce para reducir la temperatura del convertidor y por tanto se aumentan los valores de consigna para

las turbinas eólicas conectadas restantes para compensarlo.

Un ejemplo adicional de una realización de la invención es igualar la caída de tensión a lo largo de los cables, es decir la caída de tensión en las impedancias Z1 a Z5 en el ejemplo descrito anteriormente, ponderando los valores de consigna de potencia activa, y de este modo la salida con respecto a las turbinas eólicas.

- 5 Un ejemplo incluso adicional de una realización de la invención es mantener la misma potencia aparente en todas las turbinas eólicas durante el funcionamiento ponderando dinámicamente los valores de consigna de potencia reactiva.

Aún otro ejemplo adicional de una realización de la presente invención es controlar la frecuencia alterando la potencia activa a través de valores de consigna ponderados del sistema de control de turbina eólica central.

- 10 Según varias realizaciones de la invención, el sistema de control de turbina eólica central 8 recibe al menos un valor de funcionamiento de al menos una de las turbinas eólicas conectadas, dicho valor puede ser representativo de por ejemplo potencia activa inyectada, potencia reactiva inyectada, nivel de tensión, frecuencia, datos de cables tales como impedancias, datos de temperatura de componentes de turbina eólica, par o esfuerzo, capacidad de la turbina eólica, reserva de potencia, reserva de tensión, capacidad  $\frac{dP}{dt}$ ,

- 15  $\frac{dQ}{dt}$ , calidad de potencia, etc.

Además, según la invención, el sistema de control de turbina eólica central 8 recibe al menos un valor de consigna de un operador de la red eléctrica. Dicho valor puede ser representativo de por ejemplo nivel de potencia reactiva, nivel de potencia activa, tensión, frecuencia, etc.

- 20 Para una realización adicional de la invención, el sistema de control de turbina eólica central 8 recibe además al menos un valor de la red eléctrica medido en el PCC. Dicho valor puede ser representativo de, por ejemplo, tensión, corriente activa, corriente reactiva, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia,  $\cos(\phi)$ , calidad de potencia, etc.

- 25 En una realización incluso adicional de la invención, el sistema de control de turbina eólica central 8 recibe además valores de condición ambiental, tales como tiempo, configuración del parque, temperatura del aire, humedad del aire, valores de condiciones del viento, etc.

Según la invención, dichos valores de control ponderados se derivan de una solución óptima de uno o más problemas de optimización de función de costes, se modelan y se procesan en el sistema de control de turbina eólica central 8.

- 30 En general el término optimización de función de costes se refiere al ámbito de minimización o maximización de una función matemática (ecuación) escogiendo los mejores valores disponibles para variables de función a partir de un conjunto de valores permitidos, es decir para encontrar la mejor solución para un sistema dado descrito que se modela.

Según una realización, se conoce dicha minimización o maximización de una función matemática del cálculo elemental para:

- 35 1. Diferenciar la ecuación de función de costes con respecto a las variables libres  
 2. Igualar los resultados a cero y,  
 3. Resolver las ecuaciones resultantes.

- 40 En cuanto al ejemplo descrito en la figura 4b sobre la minimización de pérdidas en cableado dentro de un parque eólico que comprende cinco turbinas eólicas (T1...T5), una función de costes que comprende un conjunto de ecuaciones puede construirse por ejemplo como:

$$(I_{d1}^2 + I_{q1}^2)(Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5)+$$

$$(I_{d1}^2 + I_{q1}^2 + I_{d2}^2 + I_{q2}^2)(Z2 + Z3 + Z4 + Z5)+$$

$$\text{Pérdida} = (I_{d1}^2 + I_{q1}^2 + I_{d2}^2 + I_{q2}^2 + I_{d3}^2 + I_{q3}^2)(Z3 + Z4 + Z5)+$$

$$(I_{d1}^2 + I_{q1}^2 + I_{d2}^2 + I_{q2}^2 + I_{d3}^2 + I_{q3}^2 + I_{d4}^2 + I_{q4}^2)(Z4 + Z5)+$$

45  $(I_{d1}^2 + I_{q1}^2 + I_{d2}^2 + I_{q2}^2 + I_{d3}^2 + I_{q3}^2 + I_{d4}^2 + I_{q4}^2 + I_{d5}^2 + I_{q5}^2) \cdot Z5$

y

$$I_{q1}^2 \leq I_{n1}^2 - I_{d1}^2$$

$$I_{q2}^2 \leq I_{n2}^2 - I_{d2}^2$$

$$I_{q3}^2 \leq I_{n3}^2 - I_{d3}^2$$

$$I_{q4}^2 \leq I_{n4}^2 - I_{d4}^2$$

$$5 \quad I_{q5}^2 \leq I_{n5}^2 - I_{d5}^2$$

$$|I_{q1}| + |I_{q2}| + |I_{q3}| + |I_{q4}| + |I_{q5}| = |I_{q_{total}}|$$

donde:

Z1 = es la impedancia de cable que conecta la turbina eólica T1 a la turbina eólica T2

$I_{n_n}$  = Corriente nominal de turbina eólica Tn

10  $I_{q_n}$  = Componente en cuadratura de turbina eólica Tn (potencia reactiva)

$I_{d_n}$  = Componente continua de turbina eólica Tn (potencia activa)

$I_{q_{total}}$  = Cuadratura de corriente total necesaria en el PCC

15 Según la invención, la tarea es resolver la ecuación de función de costes con respecto a dicha al menos una variable de función para encontrar un valor extremo para dicha función de costes, calcular valores de consigna de parámetros de funcionamiento ponderados para cada una de dichas turbinas eólicas a partir de la solución obtenida, y controlar además al menos una de dichas turbinas eólicas en relación con dichos valores de consigna de parámetros de funcionamiento ponderados.

Para varias realizaciones, dicha optimización de función de costes se basa en por ejemplo una optimización por mínimos cuadrados.

20 Para realizaciones adicionales la dicha optimización de función de costes comprende el procesamiento de los valores almacenados de una o más de las turbinas eólicas conectadas.

Para realizaciones de la invención donde dichos valores de control ponderados se derivan de una solución óptima de uno o más problemas de optimización de función de costes, dicho sistema de control de turbina eólica central 8 comprende medios para procesar las operaciones matemáticas para conseguir esto.

25 Para una realización de la invención, el sistema de control de turbina eólica central 8 comprende medios para almacenar y procesar datos de funcionamiento tal como mantenimiento programado para una o más de las turbinas eólicas conectadas. Para esta realización el sistema de control de turbina eólica central altera, de manera programada, dicho valores de control ponderados de las turbinas eólicas restantes conectadas en funcionamiento para compensar la una o más turbinas eólicas que recibe mantenimiento.

### 30 **Lista**

1. Turbina eólica

2. Torre

3. Góndola

4. Rotor

35 5. Pala

6. Red de potencia común para las turbinas eólicas

7. Unidad de control central

8. Sistema de control de turbina eólica central según la invención

9. Conexión de datos de control de turbina eólica colectiva

40 10 Valores de retroalimentación que son representativos de los valores de la red eléctrica y/o salida común real de al menos dos turbinas eólicas

11 Datos ambientales

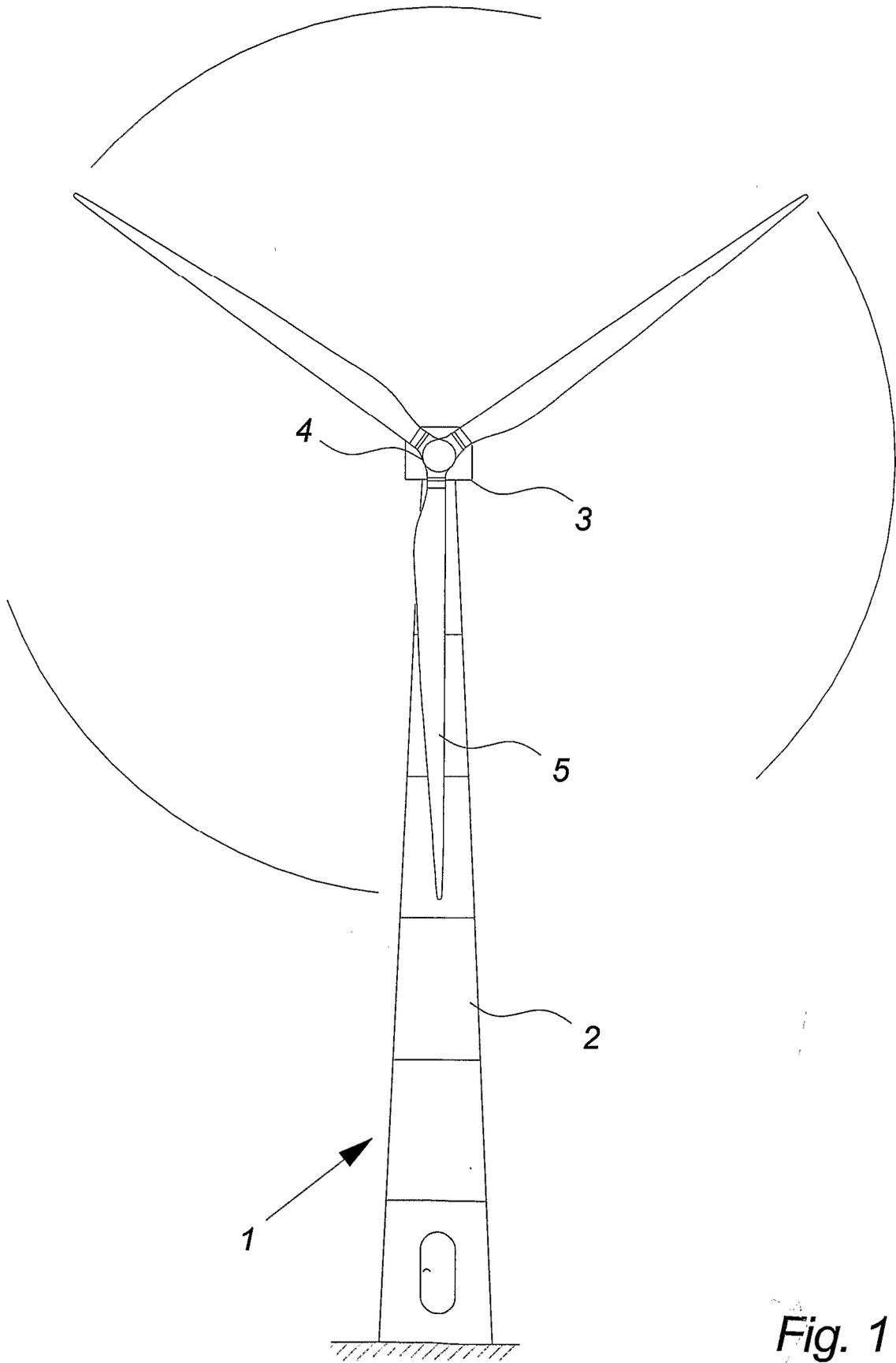
12 Valores de consigna de un operador de la red eléctrica

13 Punto de conexión común (PCC)

14 Conexiones de datos

**REIVINDICACIONES**

1. Método para controlar una salida común de al menos dos turbinas eólicas que comprende las etapas de:
  - recibir en un sistema de control de turbina eólica central
- 5
  - al menos un valor de consigna de un parámetro de consigna de un operador de la red eléctrica, y
  - al menos un valor de funcionamiento de un parámetro de funcionamiento de al menos una de dichas turbinas eólicas,
- 10
  - establecer una ecuación de función de costes que comprende al menos una variable de función que refleja un parámetro de funcionamiento de dichas turbinas eólicas y dicho parámetro de consigna recibido,
  - resolver la ecuación de función de costes con respecto al menos una dicha variable de función para encontrar un valor extremo para dicha función de costes,
- 15
  - calcular valores de consigna de parámetro de funcionamiento ponderado para dichas turbinas eólicas a partir de la solución obtenida y,
  - controlar al menos una de dichas turbinas eólicas en relación con dichos valores de consigna de parámetro de funcionamiento ponderado.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, en el que la suma del conjunto de dichos valores de consigna de parámetro de funcionamiento ponderado es sustancialmente igual a dicho valor de consigna de un parámetro de consigna de un operador de la red eléctrica.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho parámetro de consigna es corriente reactiva.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, en el que dicha ecuación de función de costes es resuelto por la optimización de mínimos cuadrados.
- 25 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, en el que dicho sistema de control de turbina eólica central recibe además al menos un valor de condición ambiental de un parámetro de condición ambiental y dicha ecuación de función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja dicho parámetro de condición ambiental.
- 30 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, en el que dicho sistema de control de turbina eólica central recibe además al menos un valor de la red eléctrica de un parámetro de la red eléctrica en el PCC y dicha ecuación de función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja dicho parámetro de la red eléctrica.
- 35 7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 6, en el que dicho sistema de control de turbina eólica central recibe además al menos un valor de pronóstico de un parámetro de pronóstico y dicha ecuación de función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja dicho parámetro de pronóstico.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7, en el que dicha función de costes comprende además al menos una variable de función que refleja datos almacenados de al menos una tabla de consulta.
- 40 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 8, en el que dicha ecuación de función de costes es resuelta de manera sustancial y continua durante el funcionamiento de dichas al menos dos turbinas eólicas.
10. Sistema de control de turbina eólica central que comprende medios de procesamiento de datos adecuados para llevar a cabo el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
- 45 11. Parque eólico que comprende al menos dos o más turbinas eólicas y un sistema de control de turbina eólica central según la reivindicación 10.
12. Grupo de parques eólicos que comprende al menos dos parques eólicos según la reivindicación 11.



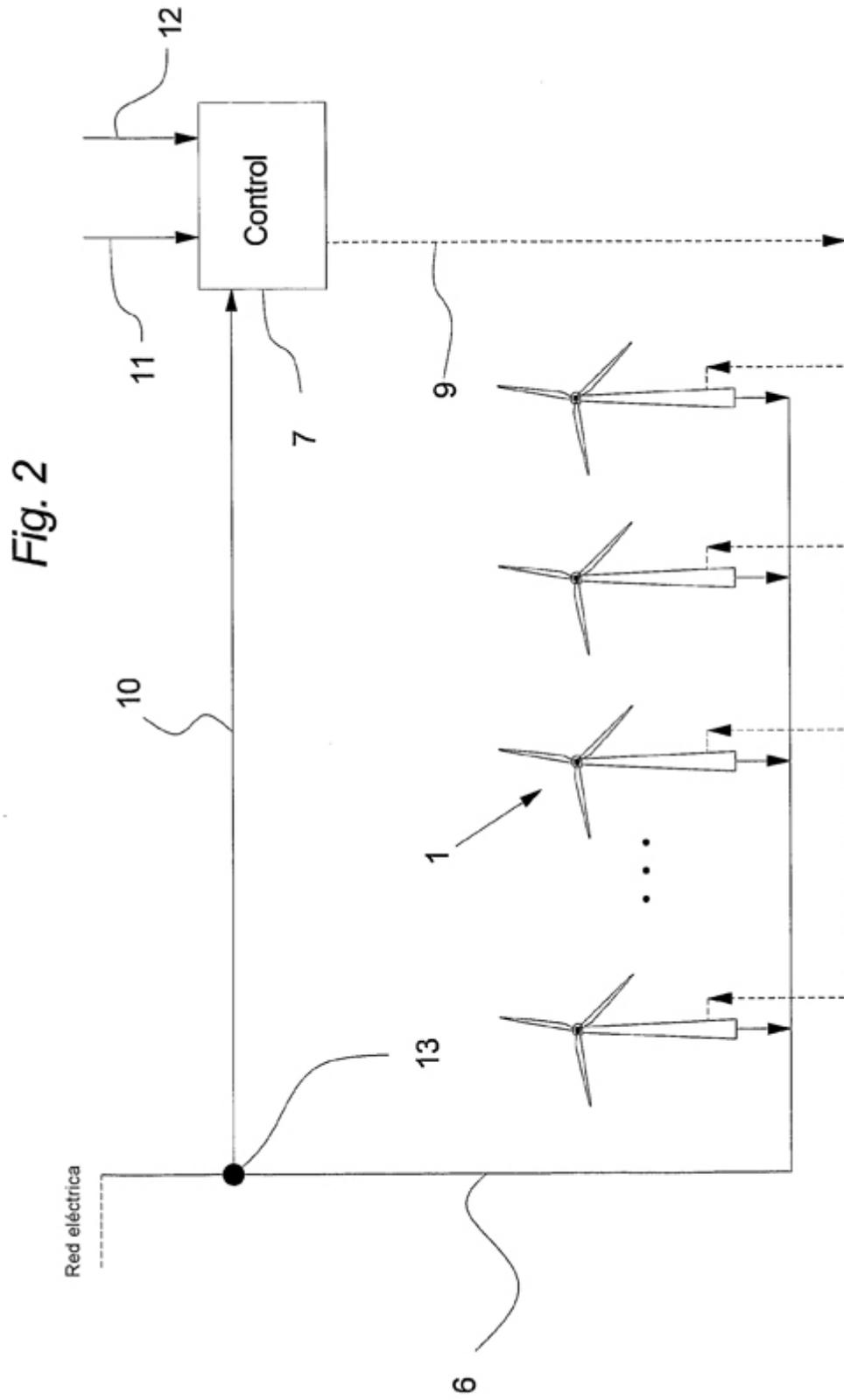
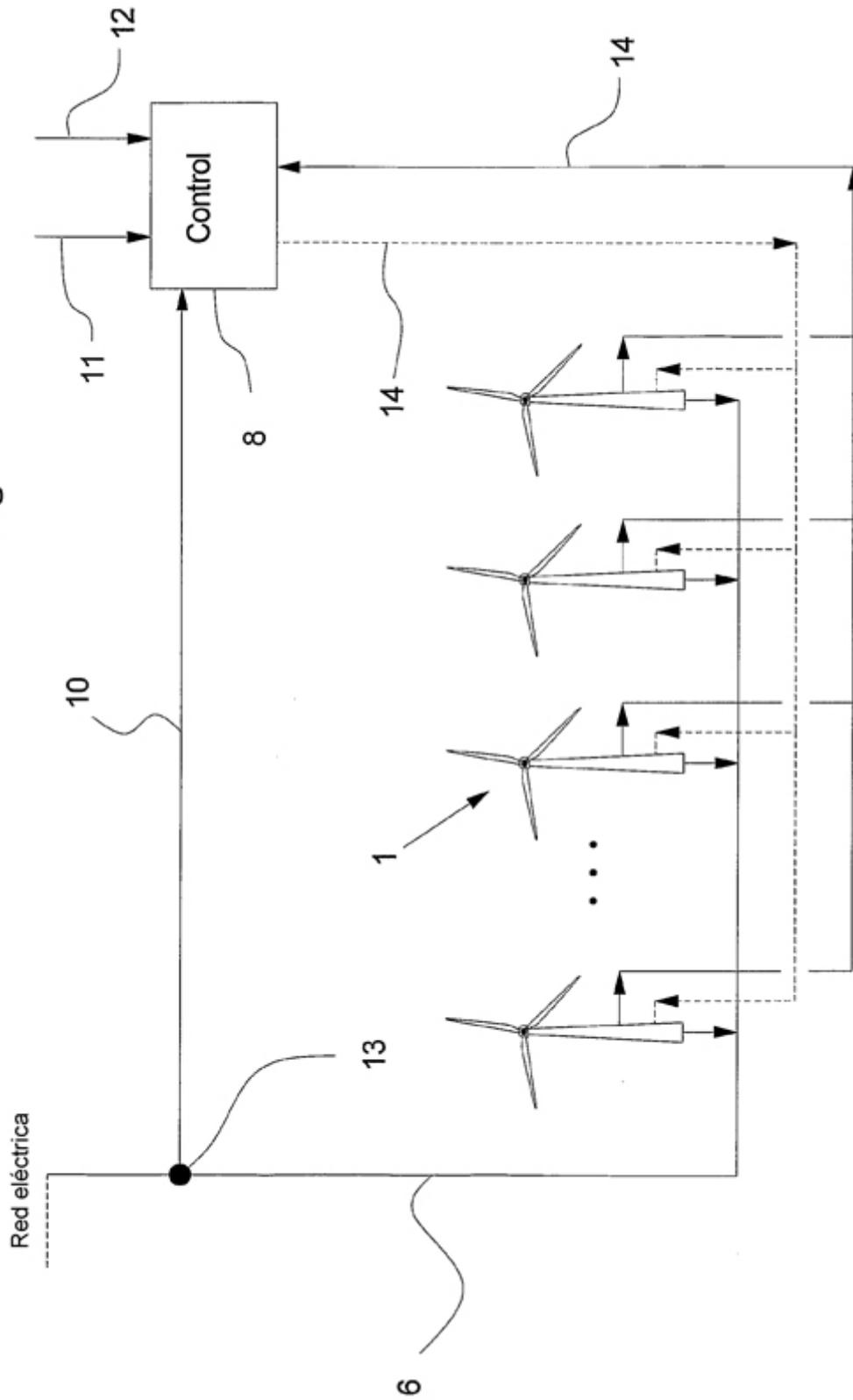


Fig. 3



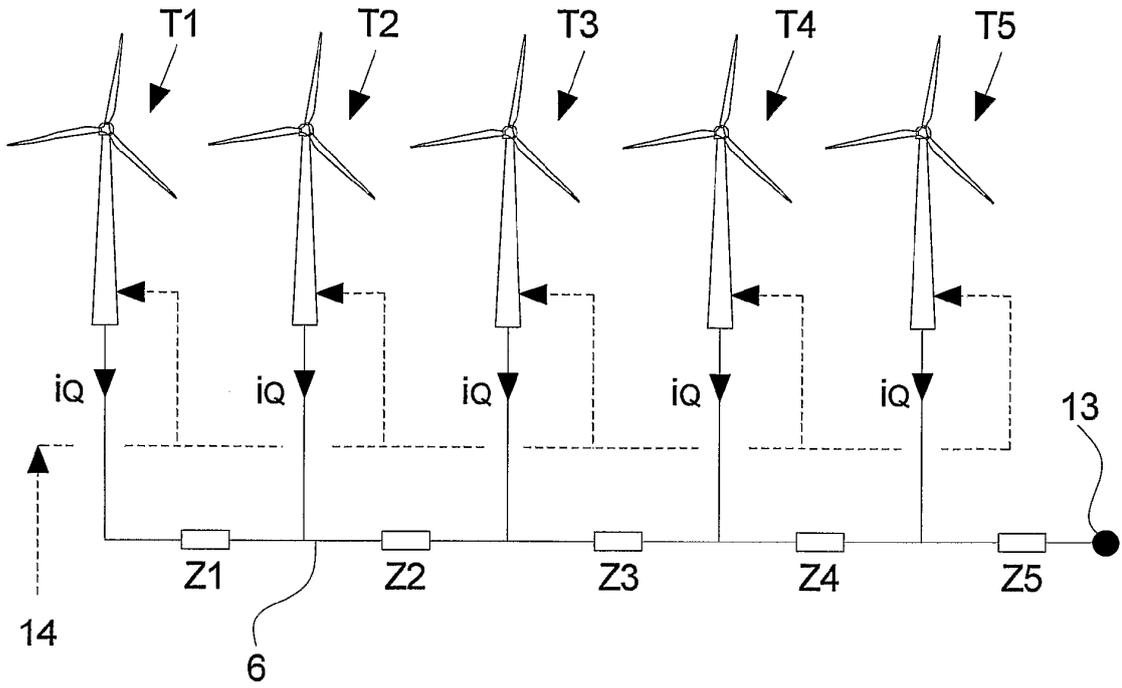


Fig. 4a

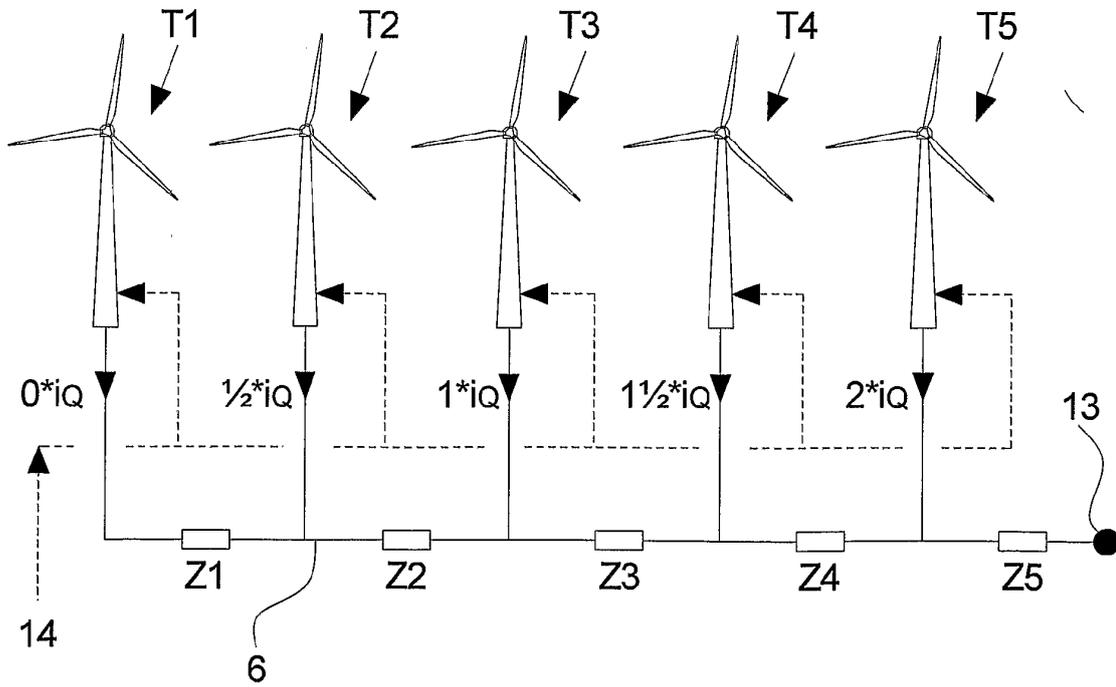


Fig. 4b