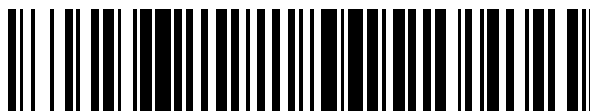


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 820**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/28** (2006.01)

**H02J 3/34** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2012 E 12176090 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 2562904**

54 Título: **Método para mantener una cantidad de energía óptima derivada de un sistema de generación de potencia en un dispositivo de almacenamiento**

30 Prioridad:

**09.08.2011 US 201113205679**

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

**05.03.2019**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**LIN, BRYAN T. y  
NELSON, ROBERT J.**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 702 820 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 MANTENER UNA CANTIDAD DE ENERGÍA ÓPTIMA DERIVADA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA EN UN DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO****5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a sistemas de generación de potencia y, más particularmente a sistemas que derivan potencia de una fuente variable tal como energía eólica y energía solar.

**10 Antecedentes de la invención**

La presente invención se describe en el contexto de un parque eólico usado para la generación de potencia eléctrica, pero es aplicable a numerosos tipos de sistemas de generación de potencia incluyendo, por ejemplo, sistemas que generan electricidad a partir de células solares y sistemas que generan potencia eléctrica a partir de energía de las olas. Una característica común a estas y otras fuentes de potencia ecológica es que la salida de potencia fluctúa, por ejemplo, basándose en las condiciones meteorológicas. Todavía es deseable integrar salidas procedentes de estas fuentes con salidas procedentes de otros sistemas de potencia eléctrica en una red. La red puede ser para el uso de una red de distribución eléctrica local o como parte de una red de transmisión eléctrica regional o incluso mayor a partir de la cual se distribuye la potencia. Es deseable encontrar modos de mejorar la manera en que se proporcionan las salidas de potencia fluctuantes, tales como las que resultan de algunas fuentes de potencia ecológicas, a líneas que reciben potencia desde múltiples fuentes. La técnica anterior relevante se conoce de:

LI JIANLIN *ET AL*: "Study on energy storage system smoothing wind power fluctuations", POWER SYSTEM TECHNOLOGY (POWERCON), 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE.UU., 24 de octubre de 2010 (24-10-2010), páginas 1-4, ISBN: 978-1-4244-5938-4;

SOMCHAI CHOKMAVIROJ: "Evaluation of the Optimal Plant System of Grid - support Photovoltaic: Case Study of The PV Plant at Mae Hong Son Province", 20140514, 14 de mayo de 2014 (14-05-2014), páginas 1-70;

documento US 2010/198420 A1 (RETTGER PHILIP [US] *ET AL*) 5 de agosto de 2010 (05-08-2010);

documento US 2008/179887 A1 (KAWAZOE HIRONARI [JP] *ET AL*) 31 de julio de 2008 (31-07-2008); y

documento US 2010/231045 A1 (COLLINS KEVIN [US] *ET AL*) 16 de septiembre de 2010 (16-09-2010), que da a conocer un método para generar salida de potencia menos variable a partir de una gran planta fotovoltaica conectada a la red de distribución eléctrica que incluye recibir potencia fotovoltaica desde un grupo fotovoltaico, medir la tasa de cambio de la potencia fotovoltaica y ajustar la potencia a partir de una fuente de potencia auxiliar controlable (batería) y el convertidor de potencia fotovoltaica, donde la potencia emitida de potencia fotovoltaica y fuente de potencia auxiliar combinadas se ajusta para hacerse funcionar dentro de una banda de cambio de tasa de salida de potencia dada que define los límites positivos y negativos máximos permisibles para la tasa de cambio de salida de potencia de la planta. Se monitoriza el estado de carga (SOC) de la batería y se ajustan los límites de cambio de tasa de potencia cuando el SOC alcanza los límites de capacidad definidos por el usuario.

**45 Breve descripción de los dibujos**

La invención se explica en la siguiente descripción en vista del dibujo que ilustra un sistema que proporciona potencia a una línea de transmisión según una realización de la invención.

**50 Descripción detallada de la invención**

Un parque eólico típico puede tener cientos de generadores de turbina eólica (WTG) conectados a una línea común para la suma de potencia e integración en una red. El parque puede extenderse a lo largo de cientos de kilómetros cuadrados. Muchos parques están situados sobre tierra, pero a menudo se prefiere que se construyan sobre grandes masas de agua para capturar mayores cantidades de energía procedente de vientos relativamente fuertes. La disposición normalmente incluye transformadores elevadores que interconectan la potencia con un sistema de transmisión de tensión superior. Aunque un parque eólico puede ser capaz de generar en ocasiones niveles de potencia que cumplen o superan la demanda total del sistema, sigue habiendo una necesidad de capacidad de reserva para proporcionar potencia durante periodos en los que las velocidades del viento son demasiado bajas como para cumplir la demanda. Una situación ideal es una en la que no haya aumentos o disminuciones repentinos en la velocidad del viento, sino más bien una velocidad del viento relativamente constante. Sin embargo, son prevalentes fluctuaciones del viento significativas esencialmente en todas las regiones geográficas que tienen velocidades del viento relativamente altas. La generación de potencia variable resultante debe adaptarse cuando se realiza la transferencia de la potencia generada a una red con el fin de proporcionar un nivel relativamente estable de potencia por toda la red. En ocasiones es deseable proporcionar controles que garanticen el cumplimiento con los requisitos de interfaz de las líneas que conectan uno o más WTG a una red.

La única figura es un diagrama de bloques simplificado de un sistema 10 según una realización de la invención que proporciona potencia a una red o red 12 de distribución eléctrica. El sistema 10 incluye una pluralidad de circuitos 14 alimentadores situados en un parque eólico. Cada circuito 14 incluye una serie de WTG 16 que generan potencia para transferirla a través de un segmento 20 de línea de colector a una línea 24 de bus de tensión media-alta de la red 14. Un controlador 26 del parque de WTG determine la salida de cada WTG 16 por medio de líneas 28 de datos de comunicación conectadas a cada WTG 16. Un transformador 30 en cada WTG 16 pasa la potencia generada por ese WTG hasta una tensión media-alta, por ejemplo, 30 - 40 KV, antes de la transferencia de la potencia a la línea 24 de bus. Una línea 32 de transmisión de alta tensión en la red 12 está conectada para recibir potencia desde la línea 24 de bus a través de un transformador 34 de parque que pasa la tensión de la línea de bus hasta una tensión de transmisión todavía más alta, por ejemplo, de 100 a 200 KV.

El sistema 10 incluye además un banco 38 de baterías, que sirve como una unidad de almacenamiento de energía, conectado a la línea 24 de bus a través de un convertidor 40 de CA en CC bajo la supervisión de un controlador 42 de almacenamiento de energía. El banco 38 de baterías puede recibir partes de la salida de potencia a la línea 24 de bus o proporcionar potencia a la línea 24 de bus. El controlador 42 de almacenamiento de energía controla selectivamente el convertidor 40 de CA en CC para colocar el banco 38 de baterías en un modo o bien de carga o bien de descarga. La transición de baterías en el banco desde un modo de carga y almacenamiento hasta un modo de descarga y viceversa se controla de manera convencional. Por ejemplo, un puente compuesto por conmutadores electrónicos, por ejemplo, tiristores o IGBT, controla la tensión aplicada al banco de baterías.

Cuando la tensión del puente es mayor que la de las baterías en el banco, y se permite que el puente conduzca, la potencia fluye desde la fuente de potencia hasta las baterías y se almacena energía. La potencia continúa fluyendo hasta que el puente se conmuta o bien mediante la tensión de la batería o bien mediante una función de auto-conmutación. Cuando la tensión del puente es menor que la de las baterías y se permite que el puente conduzca, la potencia fluye desde las baterías en el banco hasta la línea de potencia y se descarga energía hasta que el puente se conmuta por la tensión del sistema o por la función de auto-conmutación.

La invención proporciona el control de la salida de potencia a una línea así como entradas a o salidas de una unidad de almacenamiento de energía, por ejemplo, el banco 38 de baterías. Tal como se usa con referencia a las realizaciones ilustradas, el término línea significa una línea de transmisión tal como la línea 24 de bus o la línea 32 de transmisión que recibe potencia desde uno o más WTG. Más generalmente, el término línea también se refiere a cualquier línea de potencia que lleva salida de potencia desde una o más fuentes donde las fuentes no se limitan a fuentes de potencia ecológicas. En un ejemplo, la línea recibe energía desde una combinación de cualquier tipo de sistema de generación de potencia y una unidad de almacenamiento de una manera que limita las variaciones temporales en la salida a la línea dentro de un intervalo predefinido, por ejemplo, un intervalo que tiene límites superior e inferior definidos. La unidad de almacenamiento recibe energía desde el sistema de generación de potencia en función de las fluctuaciones en la salida del sistema de generación de potencia. La cantidad de cambio en la potencia a la línea, entre un periodo de tiempo y un periodo de tiempo posterior, se controla de manera que el nivel de potencia se restringe a un sub-intervalo dentro del intervalo definido de la fluctuación temporal permitida en la salida de nivel de potencia a la línea. El sub-intervalo puede ajustarse de periodo de tiempo a periodo de tiempo con el fin de controlar la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento, por ejemplo, en relación con la capacidad de la unidad de almacenamiento. Los periodos de tiempo durante los cuales se efectúa un control de este tipo pueden ser uniformes o variables.

Según una realización de la invención, se permite(n) variación/variaciones en la potencia suministrada a la línea dentro de los límites del sub-intervalo. Otra característica de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención es que el nivel de energía en la unidad de almacenamiento se mantiene dentro de un intervalo de energía definido. Mantener los niveles de energía en la unidad de almacenamiento que están dentro del intervalo definido de almacenamiento (i) garantiza que la unidad de almacenamiento puede emitir suficiente potencia complementaria a la línea cuando una disminución en la salida de potencia desde el sistema de generación podría hacer de otro modo que la variación temporal en la salida a la línea cayera por debajo del límite inferior del intervalo predefinido; y (ii) también garantiza que la unidad de almacenamiento tiene capacidad para recibir suficiente potencia desde el sistema de generación para el almacenamiento de energía cuando un aumento en la salida de potencia desde el sistema de generación haría de otro modo que la variación temporal en la salida a la línea superara el límite superior del intervalo predefinido. Por tanto la invención proporciona control de salida de potencia a la línea y mantiene un nivel de almacenamiento de energía fijo (por ejemplo, el cincuenta por ciento de la capacidad de la unidad de almacenamiento) dentro de un intervalo de energía definido (por ejemplo, +/- el tres por ciento).

Un método según la invención compara la potencia disponible para la salida durante un periodo de tiempo actual (por ejemplo, en una serie de periodos iguales tales como periodos de tiempo de un minuto o un segundo) con la potencia recibida por la línea durante un periodo inmediatamente anterior en la serie. Si la potencia disponible durante el periodo actual supera la cantidad de potencia recibida por la línea durante el periodo inmediatamente anterior, se permite que la salida de potencia desde el sistema de generación a la línea aumente durante el periodo actual hasta un nivel coherente con el límite superior del intervalo predefinido dentro del cual está limitada la variación temporal en la potencia emitida. La potencia en exceso, es decir, la diferencia entre la potencia disponible

desde el sistema de generación de potencia durante el periodo actual y la cantidad de potencia emitida realmente a la línea durante el periodo actual, se envía a la unidad de almacenamiento por el controlador 42 para su almacenamiento. Sin embargo, si la cantidad de energía almacenada alcanza el límite superior en el intervalo de almacenamiento de energía definido (por ejemplo, capacidad de almacenamiento del tres por ciento por encima del cincuenta por ciento) entonces puede ajustarse el sub-intervalo dentro del intervalo definido, que limita la variación temporal en la salida a la línea, durante al menos el periodo de tiempo actual con el fin de reducir la cantidad de energía añadida a la unidad de almacenamiento durante el periodo de tiempo actual. Por ejemplo, el límite superior del sub-intervalo dentro del intervalo predefinido al que se limita la variación temporal en la potencia emitida puede elevarse mientras que el límite inferior del sub-intervalo también puede elevarse, introduciendo de ese modo un sesgo que dispone más transferencia de potencia a la línea y que disminuye la cantidad de energía transferida a o contenida en la unidad de almacenamiento.

Si la cantidad de energía almacenada en el banco 38 de baterías disminuye hasta el límite inferior del intervalo de energía definido (por ejemplo, capacidad de almacenamiento del tres por ciento por debajo del cincuenta por ciento) entonces puede ajustarse el sub-intervalo, dentro del intervalo predefinido al que se limita la variación temporal en la potencia emitida, durante al menos el periodo de tiempo actual con el fin de aumentar la cantidad de energía que está añadiéndose a la unidad de almacenamiento. Por ejemplo, puede disminuirse el límite superior del sub-intervalo mientras que también se disminuye el límite inferior del sub-intervalo, introduciendo de ese modo un sesgo que dispone menos transferencia de potencia a la línea y que aumenta la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento.

Mediante el ajuste de los límites superior e inferior de un sub-intervalo dentro del intervalo predefinido al que se limita la variación temporal en potencia emitida, se hace posible mantener límites rigurosos en la variación temporal en la salida de potencia a la línea mientras que también se mantiene un nivel relativamente estable (por ejemplo, +/- el tres por ciento) de energía en la unidad de almacenamiento. Pese a las fluctuaciones relativamente grandes en la salida desde el sistema de generación de potencia, tal como resulta en condiciones de viento racheado, es posible cumplir con los límites en la variación temporal en la salida de potencia a la línea y al mismo tiempo garantizar que la unidad de almacenamiento contenga una cantidad de energía coherente disponible según demanda.

El funcionamiento del sistema 10 según una realización de la invención comienza con una determinación de la potencia del viento disponible total  $P_A(t_i)$  en la línea 24 de bus durante cada uno en una secuencia de periodos de tiempo uniformes,  $t_i$ , para valores de  $i$  que oscilan entre  $-L$  y  $+L$ . En un ejemplo, para un valor dado de  $i$ , una secuencia de periodos de tiempo consiste en  $2L+1$  periodos:  $t_{i-L} \dots t_{i-5}, t_{i-4}, t_{i-3}, t_{i-2}, t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, t_{i+2}, t_{i+3}, t_{i+4}, \dots t_{i+L}$ .

$P_A(t_i)$  puede medirse o puede calcularse basándose en la velocidad del viento medida,  $V(t_i)$  tal como se experimenta por cada uno de los WTG 16 durante cada periodo de tiempo  $t_i$ . Los cálculos se realizan de acuerdo con conversiones apropiadas de la curva de velocidad del viento - potencia para cada WTG. Las conversiones pueden basarse en tablas de consulta o en modelos matemáticos aplicados para cada periodo de tiempo  $t_i$  basándose en las velocidades del viento medidas.

$P_A(t_i)$  puede medirse o puede calcularse basándose en la velocidad del viento medida,  $V(t_i)$  tal como se experimenta por cada uno de los WTG 16 durante cada periodo de tiempo  $t_i$ . Los cálculos se realizan de acuerdo con conversiones apropiadas de la curva de velocidad del viento - potencia para cada WTG. Las conversiones pueden basarse en tablas de consulta o en modelos matemáticos aplicados para cada periodo de tiempo  $t_i$  basándose en las velocidades del viento medidas.

$P_{salida}(t_{i-1})$  es la cantidad de potencia emitida realmente desde la línea 24 de bus hasta la línea 32 de transmisión durante el periodo de tiempo  $t_{i-1}$  que precede inmediatamente al periodo de tiempo  $t_i$ . Más generalmente, para un periodo arbitrario de los periodos de tiempo  $t_{i+c}$ , donde  $c$  puede ser un número entero positivo o negativo,  $P_{salida}(t_{i+c})$  es la cantidad de potencia emitida realmente desde la línea 24 de bus hasta la línea 32 de transmisión durante uno de los periodos de tiempo de  $t_{i-L}$  a  $t_{i+L}$ .  $P_{salida}(t_{i+c})$  puede ser una cantidad medida o puede basarse en parte en una combinación de velocidades del viento medidas, conversiones de la curva de velocidad del viento - potencia, y cantidades  $\Delta P(t_{i+c})$  y  $k$ , que también varía entre los periodos de tiempo tal como se explica en el presente documento.

$\Delta P(t_i)$  es la diferencia entre la potencia disponible durante el periodo de tiempo  $t_i$  y  $P_{salida}(t_{i-1})$ :

$$\Delta P(t_i) = P_A(t_i) - P_{salida}(t_{i-1})$$

De manera similar,  $\Delta P(t_{i-1})$  es la diferencia entre la potencia disponible durante el periodo de tiempo  $t = t_{i-1}$  y  $P_{salida}(t_{i-2})$  donde  $t_{i-2}$  es el periodo de tiempo que precede inmediatamente al periodo de tiempo  $t_{i-1}$ :

$$\Delta P(t_{i-1}) = P_A(t_{i-1}) - P_{salida}(t_{i-2})$$

Generalmente, para un intervalo arbitrario de los intervalos  $t_{i+c}$ , donde  $c$  es un número entero,

$$\Delta P(t_{i-c}) = P_A(t_{i-c}) - P_{salida}(t_{i+c-1}).$$

5  $k(t_i)$  es un factor determinante de la parte de  $\Delta P(t_i)$  añadida a o restada de  $P_{salida}(t_{i-1})$  para definir  $P_{salida}(t_i)$ . Más generalmente, para un intervalo arbitrario de los intervalos  $t_{i+c}$ ,  $k(t_{i+c})$  es un factor usado para determinar la parte de  $\Delta P(t_{i-c})$  que tiene que añadirse a o restarse de  $P_{salida}(t_{i+c-1})$  para definir  $P_{salida}(t_{i+c})$ . En una serie de realizaciones,  $k$  es una función de:

10  $E_s$ , cantidad de energía almacenada en el banco 38 de baterías,  
 $E_{s \text{ Máx}}$ , el nivel de almacenamiento permitido máximo en la batería, y  
 $E_{s \text{ Mín}}$ , el nivel de almacenamiento permitido mínimo en la batería.

15 En una realización, cuando  $\Delta P(t_{i+c}) = 0$ , ninguna parte de  $\Delta P(t_i)$  se añade a o se resta de  $P_{salida}(t_{i+c-1})$  para definir  $P_{salida}(t_{i+c})$ . Cuando  $\Delta P(t_{i+c}) > 0$  o  $\Delta P(t_{i+c}) < 0$ , si

$$\frac{E_s - E_{s \text{ mín}}}{E_{s \text{ máx}} - E_{s \text{ mín}}} > 1,$$

20 entonces  $k(t_{i+c}) = 1$   
 y cuando

$$0 < \frac{E_s - E_{s \text{ mín}}}{E_{s \text{ máx}} - E_{s \text{ mín}}} > 1;$$

25  $k(t_{i+c}) = C * \frac{E_s - E_{s \text{ mín}}}{E_{s \text{ máx}} - E_{s \text{ mín}}}$  si  $E_s$  está fuera del intervalo de almacenamiento deseado, y  $k(t_{i+c}) = f(E_s, E_{s \text{ mín}},$

$E_{s \text{ máx}}, \Delta P', V(t_{i-1}), V(t_i))$  si  $E_s$  está dentro del intervalo de almacenamiento deseado, donde:

30  $C$  es una constante que puede ser una función del dispositivo de almacenamiento de energía,

$\Delta P'$  es la variación permisible máxima en la potencia de salida del parque entre periodos de tiempo consecutivos, por ejemplo,  $t_{i-1}, t_i$ ,

35  $V(t_{i-1})$  es la velocidad del viento durante un periodo de tiempo anterior  $t_{i-1}$  que precede inmediatamente al periodo de tiempo  $t_i$ , y

$V(t_i)$  es la velocidad del viento durante un periodo de tiempo actual  $t_i$ ,

y cuando  $\frac{E_s - E_{s \text{ mín}}}{E_{s \text{ máx}} - E_{s \text{ mín}}} < 0,$

40  $k(t_{i+c}) = 0.$

$\Delta E_s$ , el cambio correspondiente en la energía almacenada en la batería, durante un periodo arbitrario de los periodos de tiempo  $t_{i+c}$ , en relación con el periodo de tiempo inmediatamente anterior  $t_{i+c-1}$  es:

45 
$$\Delta E_s(t_{i+c}) = \eta_s \Delta t (1-k) \Delta P(t_{i+c})$$

50 donde  $\eta_s$  es la eficiencia de transferencia asociada, es decir, o bien para almacenar carga en la batería o bien para retirar carga de la batería, donde  $\Delta t$  es la duración de los intervalos de tiempo  $t_{i+c}$  y  $t_{i+c-1}$ , y donde  $\Delta P(t_{i+c})$  es la diferencia entre la potencia disponible durante el intervalo de tiempo  $(t_{i+c})$  y  $P_{salida}$  durante el periodo de tiempo  $(t_{i+c-1})$ .

Por consiguiente, la cantidad neta de energía almacenada en la batería durante un intervalo arbitrario de los intervalos de tiempo  $t_{i+c}$  es

$$E_s(t_{i+c}) = \Delta E_s(t_{i+c}) + E_s(t_{i+c-1})$$

5 donde  $E_s(t_{i+c-1})$  es la cantidad de energía almacenada en la batería durante el periodo de tiempo inmediatamente anterior  $t_{i+c-1}$ .

10 Aunque la duración de un periodo de tiempo puede variar, en un ejemplo ilustrativo de un método según la invención,  $\Delta t$ , la duración de cada uno de los periodos de tiempo (por ejemplo,  $t_{i-k} \dots t_{i-1}$ ,  $t_i$ ,  $t_{i+1} \dots t_{i+k}$ ), se fija a un segundo. El intervalo de cambio en la salida de potencia a la línea 32 de transmisión entre cada periodo de tiempo y un periodo de tiempo siguiente tiene un límite superior igual al 110 por ciento de la salida de potencia total durante el periodo inmediatamente anterior (correspondiente a un aumento permitido máximo en la potencia que está emitiéndose a la línea 32) y un límite inferior del 90 por ciento de la salida de potencia total durante el periodo inmediatamente anterior (correspondiente a una disminución permitida máxima en la potencia que está emitiéndose a la línea 32). El método define, de una manera de periodo de tiempo por periodo de tiempo, cantidades de potencia dentro de este intervalo para emitirse a la línea 32 de manera que la cantidad de energía en el banco 38 de baterías puede mantenerse dentro de un intervalo definido.

15 Específicamente, el intervalo de almacenamiento de energía permitido en el banco de baterías puede prolongarse entre uno y nueve MWh. Es decir,  $E_{s \text{ Min}} = 1$  MWh y  $E_{s \text{ Máx}} = 9$  MWh. La determinación de un intervalo de almacenamiento aceptable depende de numerosos factores, incluyendo la capacidad de almacenamiento global, el intervalo de aumentos y disminuciones permitidos temporalmente en la salida de potencia a la línea 32, y las fluctuaciones previstas en la potencia generada por los circuitos 14 alimentadores. En este ejemplo, se supone que el banco de baterías se caracteriza por una eficiencia de transferencia de carga  $\eta_s = \eta_s^+$  de 0,9 y la inversa de la eficiencia de transferencia de drenaje  $\eta_s = \eta_s^-$  de 1,15, donde la eficiencia de transferencia de drenaje es de 1/1,15.

20 Con las restricciones anteriores, durante un periodo de tiempo para el que  $i = 0$ :

$$P_{\text{salida}}(t_0) = 10 \text{ MW},$$

30 la velocidad del viento  $V(t_0)$  en cada WTG 16 es de 10 m/s, y

$$E_s(t_0), \text{ la cantidad de energía almacenada en el banco de baterías, es de 5 MWh}$$

y durante el siguiente periodo de tiempo (es decir, el periodo para el que  $i = 1$ ):

35 la velocidad del viento  $V(t_1)$  en cada WTG 16 es de 11 m/s,

la potencia del viento disponible total  $P_A(t_1)$ , que es una función de  $(V(t_1))$ , es de 11 MW, y

$$40 \quad \Delta P(t_1) = P_{\text{salida}}(t_1) - P_{\text{salida}}(t_0) = 1 \text{ MW}.$$

Con  $\Delta P(t_1) > 0$ , cuando  $E_s = E_s(t_0)$ , y recordando, cuando  $0 < \frac{E_s - E_{s \text{ min}}}{E_{s \text{ máx}} - E_{s \text{ min}}} > 1$ ,

$$k = C * \frac{E_s - E_{s \text{ min}}}{E_{s \text{ máx}} - E_{s \text{ min}}} = 0,5$$

45 Suponiendo que el almacenamiento de energía es del 70% al 80% de  $E_{s \text{ máx}}$ , esto está fuera del intervalo deseado. Ajustando C igual a 1,0 y ajustando k igual a 0,5 en este ejemplo, entonces:

$$50 \quad P_{\text{salida}}(t_1) = k \Delta P(t_1) + P_{\text{salida}}(t_0) = (0,5)(1 \text{ MW}) + 10 \text{ MW} = 10,5 \text{ MW}$$

mientras que el aumento permitido máximo en la potencia que está emitiéndose a la línea 32 es del 110 por ciento de 10 MW, u 11 MW, y la disminución permitida máxima en la salida de potencia a la línea 32 es del 90 por ciento de 10 MW, o 9 MW.

55  $\Delta E_s(t_1)$ , el cambio en la cantidad de energía almacenada en el banco de baterías entre los periodos  $t_0$  y  $t_1$  es entonces:

$$\begin{aligned} \Delta E_s(t_1) &= (1-k) * \Delta P(t_1) * (\Delta t) * \eta_s \\ &= (1-0,5) * (1 \text{ MW}) * (1s) * 0,9 \end{aligned}$$

$$= 0,45 \text{ MWs}$$

$$= 0,000125 \text{ MWh}$$

y  $E_s(t_1)$ , la cantidad de energía almacenada en el banco de baterías, y viene dada por

$$E_s(t_1) = \Delta E_{s,1} + E_{s,1}$$

$$= 0,000125 \text{ MWh} + 5 \text{ MWh}$$

$$= 5,000125 \text{ MWh.}$$

Se ha descrito un método para controlar una cantidad de potencia suministrada por una fuente de potencia a una línea de potencia. En el ejemplo dado a conocer, la fuente de potencia comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica en un sistema que genera una cantidad variable de potencia eléctrica basándose en fluctuaciones en la velocidad del viento. El método incluye proporcionar un subsistema de potencia que comprende la fuente y una unidad de almacenamiento de energía y hacer funcionar la unidad de almacenamiento de energía (i) para recibir y contener partes de la energía generada por el sistema para limitar la potencia proporcionada directamente a la línea de potencia por la fuente y (ii) proporcionar partes de la energía almacenada en ella a la línea de potencia para complementar la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia. Se definen límites máximo y mínimo para un intervalo de cambio en la potencia suministrada a la línea de potencia por el subsistema de potencia. Durante cada uno en una secuencia de periodos de tiempo, una cantidad de potencia que va a suministrarse por cada una de la fuente y la unidad de almacenamiento de energía a la línea de potencia se define basándose en (i) una cantidad de potencia determinada disponible para suministrarse directamente a la línea de potencia desde la fuente de potencia, (ii) un nivel de energía determinado en la unidad de almacenamiento disponible para suministrarse a la línea de potencia, y (iii) los límites en el intervalo de cambio en la potencia que va a suministrarse por el subsistema de potencia a la línea de potencia. En una serie de realizaciones, la unidad de almacenamiento es un banco de baterías que proporciona un intervalo de almacenamiento de energía que corresponde a la capacidad del banco de baterías. El funcionamiento de la unidad de almacenamiento incluye mantener un nivel de energía en la unidad de almacenamiento que está dentro de un intervalo de almacenamiento variable menor que el intervalo de almacenamiento de energía. En algunas realizaciones, la secuencia de periodos de tiempo comprende una pluralidad de periodos de tiempo iguales, y la potencia disponible para emitirse a la línea de potencia desde la fuente de potencia durante un primer periodo en la secuencia de periodos de tiempo se compara con la potencia recibida por la línea durante un segundo periodo de tiempo que se produce antes que el primer periodo. Cuando la potencia disponible durante el primer periodo supera la cantidad de potencia recibida por la línea durante el segundo periodo de tiempo anterior, se permite que la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia aumente durante el primer periodo hasta un nivel que no supera el límite máximo definido en el intervalo de cambio en la potencia; y se aplica otra potencia disponible desde la fuente durante el periodo a la unidad de almacenamiento.

También según realizaciones de la invención, la potencia disponible para emitirse a la línea de potencia desde la fuente de potencia durante un tercer periodo en la secuencia de periodos de tiempo se compara con la potencia recibida por la línea durante un cuarto periodo de tiempo que se produce antes que el segundo periodo, y la unidad de almacenamiento tiene un intervalo de almacenamiento de energía que tiene un límite superior. El nivel de energía mantenido en la unidad de almacenamiento está dentro de un primer intervalo de funcionamiento de energía que tiene un límite superior menor que el límite superior del intervalo de almacenamiento de energía. Cuando la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento alcanza el límite superior del primer intervalo de funcionamiento de energía, se aumenta la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia durante el tercer periodo en relación con la potencia emitida durante el cuarto periodo de tiempo para reducir la cantidad de energía añadida a la unidad de almacenamiento durante el tercer periodo de tiempo.

Todavía en otra realización, cuando la potencia disponible durante el tercer periodo supera la cantidad de potencia recibida por la línea durante el cuarto periodo de tiempo anterior, se permite que la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia aumente durante el tercer periodo hasta un nivel que no supera el límite máximo definido en el intervalo de cambio en la potencia, y se aplica otra potencia disponible desde la fuente durante el tercer periodo a la unidad de almacenamiento.

Cuando la unidad de almacenamiento tiene un intervalo de almacenamiento de energía que tiene un límite inferior y hacer funcionar la unidad de almacenamiento incluye mantener un nivel de energía en la unidad de almacenamiento dentro de un primer intervalo de funcionamiento de energía que tiene un límite inferior mayor que el límite inferior del intervalo de almacenamiento de energía, y cuando la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento disminuye hasta el límite inferior del primer intervalo de funcionamiento de energía: se disminuye la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia durante el tercer periodo en relación con la potencia emitida durante el cuarto periodo de tiempo para aumentar la cantidad de energía añadida a la unidad de almacenamiento durante el tercer periodo de tiempo.

En los ejemplos anteriores, el segundo periodo de tiempo es el periodo en la secuencia que precede inmediatamente al primer periodo de tiempo y el cuarto periodo de tiempo es el periodo en la secuencia que precede inmediatamente al tercer periodo de tiempo. Además, puede obtenerse cumplimiento dentro de límites definidos en

el intervalo de cambio en la potencia suministrada a la línea de potencia por el subsistema ajustando el nivel de energía en la unidad de almacenamiento.

- 5 Aunque en el presente documento se han mostrado y descrito diversas realizaciones de la presente invención, tales realizaciones se proporcionan a modo de ejemplo únicamente. Pueden realizarse numerosos cambios y sustituciones sin apartarse de la invención en el presente documento. Por consiguiente, se pretende que la invención se limite sólo por el espíritu y el alcance de las reivindicaciones adjuntas.



**REIVINDICACIONES**

1. En un sistema que genera una cantidad variable de potencia eléctrica basándose en fluctuaciones en la cantidad de potencia recibida desde una fuente, método para controlar una cantidad de potencia suministrada por una fuente de potencia a una línea de potencia, que comprende:

proporcionar un subsistema de potencia que comprende la fuente y una unidad de almacenamiento de energía;

hacer funcionar la unidad de almacenamiento de energía (i) para recibir y contener partes de la energía generada por el sistema para limitar la potencia proporcionada directamente a la línea de potencia por la fuente y (ii) proporcionar partes de la energía almacenada en ella a la línea de potencia para complementar la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia;

definir límites máximo y mínimo en un intervalo de cambio en la potencia suministrada a la línea de potencia por el subsistema de potencia;

durante cada uno en una secuencia de periodos de tiempo, definir una cantidad de potencia que va a suministrarse por cada una de la fuente y la unidad de almacenamiento de energía a la línea de potencia basándose en (i) una cantidad de potencia determinada disponible para suministrarse directamente a la línea de potencia desde la fuente de potencia, (ii) un nivel de energía determinado en la unidad de almacenamiento disponible para suministrarse a la línea de potencia, y (iii) los límites en el intervalo de cambio en la potencia que va a suministrarse por el subsistema de potencia a la línea de potencia, en el que

la potencia disponible para emitirse a la línea de potencia desde la fuente de potencia durante un primer periodo en la secuencia de periodos de tiempo se compara con la potencia recibida por la línea durante un segundo periodo de tiempo que se produce antes que el primer periodo,

cuando la potencia disponible durante el primer periodo supera la cantidad de potencia recibida por la línea durante el segundo periodo de tiempo anterior:

se permite que la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia aumente durante el primer periodo hasta un nivel que no supera el límite máximo definido en el intervalo de cambio en la potencia, y

se aplica otra potencia disponible desde la fuente durante el primer periodo a la unidad de almacenamiento,

en el que la secuencia de periodos de tiempo comprende una pluralidad de periodos de tiempo iguales,

en el que el segundo periodo de tiempo es el periodo en la secuencia que precede inmediatamente al primer periodo de tiempo, en el que la unidad de almacenamiento comprende una batería,

en el que la salida real durante el primer periodo de tiempo es el producto de un factor por la diferencia entre la potencia disponible para emitirse desde la fuente hasta la línea de potencia durante el primer periodo de tiempo y la cantidad de salida de potencia desde la fuente hasta la línea de potencia en el segundo periodo de tiempo, y

en el que al menos en algunas circunstancias, el factor es una función de:

$$\frac{E_s - E_{s\min}}{E_{s\max} - E_{s\min}}$$

donde:

$E_s$ , cantidad de energía almacenada en la batería,

$E_{s\max}$ , el nivel de almacenamiento permitido máximo en la batería, y

$E_{s\min}$ , el nivel de almacenamiento permitido mínimo en la batería.

2. Método según la reivindicación 1, en el que la unidad de almacenamiento tiene un intervalo de almacenamiento de energía y hacer funcionar la unidad de almacenamiento incluye mantener un nivel de

energía en la unidad de almacenamiento que está dentro de un intervalo de almacenamiento variable menor que el intervalo de almacenamiento de energía.

3. Método según la reivindicación 1, en el que:

la potencia disponible para emitirse a la línea de potencia desde la fuente de potencia durante un tercer periodo en la secuencia de periodos de tiempo se compara con la potencia recibida por la línea durante un cuarto periodo de tiempo que se produce antes que el segundo periodo,

la unidad de almacenamiento tiene un intervalo de almacenamiento de energía que tiene un límite superior y hacer funcionar la unidad de almacenamiento incluye mantener un nivel de energía en la unidad de almacenamiento dentro de un primer intervalo de funcionamiento de energía que tiene un límite superior menor que el límite superior del intervalo de almacenamiento de energía, y

cuando la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento alcanza el límite superior del primer intervalo de funcionamiento de energía, se aumenta la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia durante el tercer periodo en relación con la potencia emitida durante el cuarto periodo de tiempo para reducir la cantidad de energía añadida a la unidad de almacenamiento durante el tercer periodo de tiempo.

4. Método según la reivindicación 3, en el que:

la potencia disponible durante el tercer periodo supera la cantidad de potencia recibida por la línea durante el cuarto periodo de tiempo anterior,

se permite que la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia aumente durante el tercer periodo hasta un nivel que no supera el límite máximo definido en el intervalo de cambio en la potencia, y

se aplica otra potencia disponible desde la fuente durante el tercer periodo a la unidad de almacenamiento.

5. Método según la reivindicación 3, en el que, cuando

la unidad de almacenamiento tiene un intervalo de almacenamiento de energía que tiene un límite inferior y hacer funcionar la unidad de almacenamiento incluye mantener un nivel de energía en la unidad de almacenamiento dentro de un primer intervalo de funcionamiento de energía que tiene un límite inferior mayor que el límite inferior del intervalo de almacenamiento de energía, y

cuando la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento disminuye hasta el límite inferior del primer intervalo de funcionamiento de energía, se disminuye la potencia emitida directamente desde la fuente hasta la línea de potencia durante el tercer periodo en relación con la potencia emitida durante el cuarto periodo de tiempo para aumentar la cantidad de energía añadida a la unidad de almacenamiento durante el tercer periodo de tiempo.

6. Método según la reivindicación 3, en el que el cuarto periodo de tiempo es el periodo en la secuencia que precede inmediatamente al tercer periodo de tiempo.

7. Método según la reivindicación 1, en el que el cumplimiento dentro de límites definidos en el intervalo de cambio en la potencia suministrada a la línea de potencia por el subsistema se obtiene ajustando el nivel de energía en la unidad de almacenamiento.

8. Método según la reivindicación 1, en el que un cambio en la energía en la unidad de almacenamiento de energía durante el primer periodo de tiempo es:

$$\eta_s \Delta t (1-k) \Delta P (t_{i+c})$$

donde  $\eta_s$  es la eficiencia de transferencia asociada,  $\Delta t$  es la duración de cada periodo de tiempo y donde  $\Delta P$  es la diferencia entre la potencia disponible durante el primer periodo de tiempo y la cantidad de potencia recibida por la línea de potencia durante el periodo de tiempo anterior.

9. Método según la reivindicación 1, en el que la cantidad de energía en la unidad de almacenamiento disponible para suministrarse a la línea de potencia durante cada uno en una pluralidad de los periodos de tiempo es un intervalo de energía centrado alrededor del cincuenta por ciento de la capacidad de la unidad de almacenamiento.

10. Método según la reivindicación 9, en el que el intervalo de energía es más o menos el tres por ciento del

cincuenta por ciento de la capacidad de la unidad de almacenamiento.

11. Método según la reivindicación 1, en el que el factor es también una función de:

5 la diferencia entre la potencia disponible durante el periodo de tiempo  $t_i$  y la potencia emitida durante un periodo de tiempo anterior.

