

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 707**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38** (2006.01)  
**F03D 7/04** (2006.01)  
**H02P 9/00** (2006.01)  
**F03D 7/02** (2006.01)  
**H02J 3/48** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2014** **E 14165099 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018** **EP 2824791**

54 Título: **Método y sistema para limitar la variación de salida de potencia en instalaciones renovables de generación variable**

30 Prioridad:

**28.05.2013 US 201313903305**

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

**04.04.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CLARK, WILLIAM F.;  
MA, HONGTAO;  
NELSON, ROBERT J. y  
YAZGHI, NAJLAE M.**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 707 707 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 y sistema para limitar la variación de salida de potencia en instalaciones renovables de generación variable

5

**Campo de la invención**

La invención se refiere a un método y sistema para limitar la variación de salida de potencia en instalaciones renovables de generación variable

10

**Antecedentes de la invención**

La generación de electricidad es el procedimiento de convertir la potencia de una fuente de energía en electricidad. Las fuentes de energía pueden incluir fuentes de energía renovable, derivadas de procesos naturales que se reponen constantemente, incluyendo, por ejemplo, luz solar, viento, lluvia, mareas, olas y calor geotérmico. Hay varias instalaciones de generación renovables que usan generadores de electricidad para convertir la potencia de una fuente de energía en electricidad, incluyendo células solares fotovoltaicas (PV), generadores de energía solar, generadores termoeléctricos, generadores de electricidad mareomotrices, generadores/turbinas de energía eólica y otros generadores eléctricos que usen cualquier otra fuente de energía. Las instalaciones de generación renovables pueden estar conectadas de manera apropiada para suministrar potencia a una carga, una red eléctrica para distribución adicional y/o un dispositivo/sistema de almacenamiento de energía que acumula potencia eléctrica (tal como hidrobombeo, aire comprimido, volantes y almacenamiento de energía en baterías, tal como se conoce en la técnica).

15

20

25

30

Específicamente, la potencia puede generarse por medio de una granja eólica en la que los generadores de electricidad son turbinas eólicas usadas para convertir la potencia del viento en electricidad. Las granjas eólicas se crean cuando múltiples turbinas eólicas se colocan en la misma zona geográfica con el fin de generar grandes cantidades de potencia eléctrica para su suministro a una red de suministro. Recientemente, la fracción de energía añadida a las redes de suministro mediante granjas eólicas ha aumentado drásticamente. Por tanto, existe la necesidad de controlar granjas eólicas que suministran energía a redes de suministro con respecto a varios parámetros recomendados por los operadores de la red de suministro.

35

40

La potencia eólica es variable porque la velocidad del viento es necesariamente variable. Generalmente, la potencia eólica varía con el cubo de la velocidad del viento. Por consiguiente, incluso cambios relativamente pequeños en la velocidad del viento dan como resultado cambios significativos en potencia eólica. Por ejemplo, un aumento en la velocidad del viento desde 9 m/s hasta 10 m/s puede dar como resultado un aumento de potencia eólica de casi un 40%. Las ráfagas de viento pueden producir una preocupación incluso mayor. Algunas veces, este aumento de potencia eólica supera una variación máxima permitida en una salida de parque eólico recomendada por operadores de red de suministro/sistema de transmisión, particularmente en sistemas de potencia pequeños. Por ejemplo, en sistemas como Hawaii, los operadores requieren que la salida en MW de la central no varíe más de un cierto cambio de +/- en MW a partir de la salida medida "n" segundos antes.

45

50

Los métodos para prefijar un valor deseado para una variable eléctrica de una granja eólica que tiene que generarse, mediante un control de granja. Por ejemplo, según el documento EP 2 213 874 A2, se calcula un aumento promedio de los valores reales de la variable eléctrica para un intervalo de tiempo de manera continua. Se determina una propuesta del valor deseado para cada intervalo de tiempo predeterminado. Se determina un nuevo valor deseado de la variable eléctrica de la granja con una selección del valor deseado como la más pequeña de múltiples propuestas cuando el aumento promedio en el intervalo de tiempo es más pequeño que un valor máximo en el intervalo de tiempo. La variable eléctrica comprende potencia efectiva, potencia reactiva, potencia aparente, corriente efectiva, corriente reactiva, corriente aparente, factor de potencia, ángulo de fase, frecuencia o tensión en un punto de interconexión entre la granja eólica y red eléctrica.

55

60

65

Se han realizado intentos para controlar la potencia de granja eléctrica incluyendo esquemas de control para controlar la tasa de rampa de potencia de una granja eólica, tal como se describe en la patente estadounidense n.º 7.679.215. El método de control de tasa de potencia de granja eólica descrito en el mismo intenta limitar la tasa de cambio de salida de potencia colectiva generando una señal limitativa de tasa de salida de potencia basándose en la tasa monitorizada de cambio de salida de potencia colectiva de los generadores de turbina eólica y una rampa de potencia colectiva deseada de los generadores de turbina eólica, y aplicando la señal limitativa de tasa de salida de potencia a la pluralidad de generadores de turbina eólica. En funcionamiento, cuando la tasa de rampa de potencia de granja eólica real aumenta por encima de la solicitud de tasa de rampa, el controlador ajusta la tasa de rampa de granja eólica, provocando que la salida de potencia real se encuentre por debajo de la solicitud de tasa de rampa. Como resultado, la suma aritmética a lo largo de un tiempo de duración de un minuto es cero. Sin embargo, aunque este esquema proporciona una tasa de rampa "promedio" que coincide con una solicitud de tasa de rampa, la potencia de granja eléctrica todavía supera la máxima potencia de salida de central permitida durante este intervalo de tiempo y, por tanto, no logra satisfacer los requisitos de operadores de red de que la salida no varíe más de un cierto cambio de +/- de potencia a partir de la salida medida "n" segundos antes.

5 Algunas desventajas de este esquema incluyen: pueden superarse los límites de tasa de rampa durante un corto periodo de tiempo; producción de potencia no óptima debido al hecho de que la potencia se controla por medio de una tasa de rampa de turbina en lugar de un punto de consigna de potencia de turbina; y, finalmente, este control requiere un control de tasa de rampa en las turbinas eólicas.

10 En vista de estas variaciones de potencia eólica que provocan que la potencia de salida varíe más allá de los límites recomendados y las insuficiencias de los intentos previos, existe la necesidad en la técnica de un sistema y método para limitar la potencia de salida para cumplir con los requisitos de los operadores de red de suministro/sistema de transmisión. Existe la necesidad adicional en la técnica de proporcionar un mecanismo de control que realice una función de control de salida para acotar la variación de la salida de parque eólico para cumplir con los requisitos de los operadores de red de suministro/sistema de transmisión. Existe la necesidad adicional en la técnica de un sistema y método para mantener el equilibrio de frecuencia y generación de carga.

15 La presente invención está diseñada para abordar estas necesidades.

### **Breve descripción de los dibujos**

20 La invención se explica en la siguiente descripción en vista de los dibujos que muestran:

La figura 1 es un dibujo esquemático que representa una turbina eólica ensamblada típica.

25 La figura 2 es un esquema de una realización de ejemplo de un sistema de generación de potencia (por ejemplo, una granja eólica) que puede beneficiarse de aspectos de la presente invención.

30 La figura 3 es un diagrama de bloques que representa un mecanismo de control para control de tasa de rampa a nivel de turbina según aspectos de una realización de la invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de una realización de la invención.

35 La figura 5 es una ilustración gráfica que muestra los resultados del esquema de control de una realización de la invención.

### **Descripción detallada de la invención**

40 Según una o más realizaciones de la presente invención, se describen en el presente documento disposiciones estructurales y/o técnicas que conducen a mejoras en limitar variaciones de salida en sistemas de generación de potencia. En la siguiente descripción detallada, se exponen diversos detalles específicos con el fin de proporcionar un entendimiento completo de tales realizaciones. Sin embargo, los expertos en la técnica entenderán que las realizaciones de la presente invención pueden ponerse en práctica sin estos detalles específicos, que la presente invención no se limita a las realizaciones representadas, y que la presente invención puede ponerse en práctica en una variedad de realizaciones alternativas. En otros casos, métodos, procedimientos y componentes que un experto en la técnica entenderá bien no se han descrito en detalle para evitar explicaciones innecesarias y engorrosas.

45 En términos generales, la invención proporciona un método, sistema y medios legibles por ordenador, tangibles y no transitorios para limitar la variación de tasa en una instalación de energía renovable, tal como un parque eólico. Las realizaciones proporcionan un mecanismo/esquema de control que realiza una función de control de salida para acotar la variación de la salida de parque eólico para cumplir con los requisitos de salida de potencia, tales como los recomendados por medios de los requisitos de los operadores de red de suministro/sistema de transmisión.

50 La invención se define por las características de las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas de la invención se definen por las reivindicaciones dependientes

55 La invención puede implementarse de varias maneras, incluyendo como un sistema, una disposición de energía renovable, un dispositivo/aparato, un método implementado por ordenador o un medio legible por ordenador no transitorio que contiene instrucciones para implementar el método. Como un sistema, una realización de la invención incluye una memoria, dispositivos de entrada/salida, una unidad de procesador, medios de comunicación y un dispositivo de visualización opcional y/o base de datos opcional. Los métodos de la presente invención pueden implementarse como producto de programa informático con un medio legible por ordenador no transitorio que tiene código en el mismo. Un aparato puede incluir dispositivos electrónicos programados y/o que funcionan según las etapas de la presente invención.

60 En una realización de la presente invención, el método se usa para controlar la potencia de salida desde una instalación de energía renovable controlando una potencia de salida de una pluralidad de generadores de electricidad (por ejemplo, turbinas eólicas) usando señales de potencia monitorizadas. El procedimiento control incluye procesar las señales de potencia monitorizadas mediante un controlador para producir una señal de salida;

restringir la señal de salida a un límite superior mediante un limitador, en el que el límite superior comprende una cota superior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo; y aplicar la señal de salida restringida a la pluralidad de generadores de electricidad para limitar la variación de potencia de salida por unidad de tiempo según la cota predeterminada.

5 Procesar las señales de potencia monitorizadas incluye determinar una potencia de planificación basándose en una cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo con respecto a una potencia de salida medida en una unidad de tiempo anterior; calcular una señal de error a partir de una diferencia entre la potencia de planificación y una potencia medida; y procesar la señal de error mediante un algoritmo de control de un controlador para producir la señal de salida. En realizaciones adicionales, las señales de potencia de la instalación de energía renovable se monitorizan recibiendo una o más señales de potencia a partir de uno o más sensores. Señales de control que comprenden un punto de consigna de potencia activa se emiten para controlar uno o más parámetros de funcionamiento de uno o más generadores de electricidad individuales en la instalación de energía renovable. Puede utilizarse un controlador central que se puede hacer funcionar para monitorizar y controlar una salida de potencia colectiva de la pluralidad de generadores de electricidad. El controlador central también puede usarse para controlar un sistema de almacenamiento de energía de la instalación de energía renovable.

20 Generalmente, la cota predeterminada para la variación de potencia de salida por unidad de tiempo se recomienda por medio de una red de suministro u otra aplicación que recibe la potencia de salida. La cota predeterminada puede comunicarse como una cota cuya salida no puede variar más de un cambio especificado de potencia de salida a partir de una potencia de salida medida en una unidad de tiempo anterior especificada.

25 En realizaciones adicionales, las señales de potencia monitorizadas se procesan mediante control de potencia activa que aplica, mediante un algoritmo de control de un controlador, uno o más de valores proporcionales, integrales y derivados a una señal de entrada para producir la señal de salida. Después de eso, la señal de salida del controlador se restringe a un límite inferior mediante el limitador, en el que el límite inferior es una cota inferior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo. Por ejemplo, cuando la señal de salida permanece en o por debajo de la cota superior, la señal de salida restringida del limitador es sustancialmente igual a la señal de salida, y cuando la señal de salida supera la cota superior, la señal de salida restringida del limitador es sustancialmente constante y está restringida al valor de cota superior.

35 Generalmente, en funcionamiento, el método y sistema usan un mecanismo de control para cumplir con requisitos de compañía energética para mantenerse dentro de ciertas cotas recomendadas que representan un cambio de +/- en MW de la salida registrada en cada etapa de tiempo anterior. De esta manera, el mecanismo de control limitará la tasa de variación de potencia de salida en cada etapa de tiempo para cumplir con el requisito del servicio público enviando un punto de consigna de potencia activa a las turbinas eólicas que cumplen con los requisitos del servicio público.

40 De una manera convencional, tal como se muestra en la figura 1, una turbina 1 eólica ensamblada incluye una torre 2, una góndola 3 y un rotor que incluye un buje 4 con palas 5 de rotor. La góndola 3 está montada rotativamente en la torre 2 alrededor de un eje de guiñada (no mostrado). Un motor de control de guiñada (no mostrado) está ubicado entre la torre 2 y la góndola 3 para ajustar la guiñada de la góndola basándose en la dirección del viento. La dirección del viento se mide normalmente por medio del uso de una veleta o por medio del uso de un sensor de viento sónico (no mostrado). Para lograr la conversión óptima de potencia eólica en potencia eléctrica, se alinea el eje de rotor con la dirección del viento.

50 La figura 2 es un esquema de una realización de ejemplo de un sistema de generación de potencia, tal como una granja 10 eólica que tiene una pluralidad de turbinas eólicas que pueden beneficiarse de aspectos de la presente invención. En esta realización de ejemplo, la granja 10 eólica comprende tres sistemas 12, 14, 16 de turbinas eólicas (denominados a continuación en el presente documento turbinas eólicas) que están acoplados a generadores respectivos y transformadores/aparatos electrónicos convertidores de potencia asociados en una disposición de interconexión de ejemplo.

55 Se apreciará que el número de turbinas eólicas no se limita de ninguna manera a tres turbinas eólicas. Adicionalmente, los aspectos de la presente invención no se limitan al ejemplo específico de implementación de turbinas eólicas mostrado en la figura 2, siendo posibles otros tipos de implementaciones para las turbinas eólicas. Por ejemplo, las implementaciones de turbina eólica de DFIG (generador de inducción doblemente alimentado) y DD (accionamiento directo), además de la implementación de convertidor completo de engranaje mostrada la figura 2, pueden beneficiarse de manera similar de aspectos de la presente invención. Además, los aspectos de la presente invención no se limitan a turbinas eólicas ubicadas en ninguna región particular y pueden aplicarse a nivel mundial.

65 Específicamente, tal como se muestra en la figura 2, cada turbina 12, 14, 16 eólica comprende un rotor respectivo con un árbol de rotor que transmite el par motor de un rotor giratorio a una caja de engranajes respectiva (no mostrada). Las cajas de engranajes están dispuestas para transmitir la rotación de los rotores a árboles de salida con una cierta razón de engranajes. Cada árbol de salida está acoplado mecánicamente al rotor respectivo de un generador (GEN) de CA (corriente alterna) que transforma respectivamente la potencia mecánica proporcionada por

- la rotación de los árboles de salida en potencia eléctrica. La tensión de la potencia eléctrica producida por los generadores (GEN) puede aumentarse por medio de transformadores (TRANSF) de turbina y después acoplarse a una red 50 de distribución. A modo de ejemplo, los generadores de CA pueden ser generadores síncronos. En un generador síncrono, el rotor rota con la misma frecuencia de rotación que el campo magnético rotativo producido por el estator del generador o con una relación de números enteros con la frecuencia del campo magnético rotativo, dependiendo del número de polos presentes en el rotor. Los generadores (GEN) son generadores de velocidad variable, es decir, se permite que las velocidades de rotación de los rotores respectivos varíen, por ejemplo, dependiendo de las condiciones del viento.
- Puede usarse un alimentador para acoplar salidas de potencia de turbinas eólicas para suministrar a la red 50 de distribución. En una aplicación típica, la red 50 de distribución acopla potencia a partir de múltiples alimentadores (no mostrados), acoplando cada alimentador salidas de potencia de una pluralidad de turbinas 12, 14, 16 eólicas. Un transformador 54 de estación puede usarse para aumentar la tensión de la potencia desde la red 50 de distribución a una tensión de transmisión requerida por el servicio 56 público.
- En la realización ilustrada, la granja 10 eólica incluye un sistema 60 de control de granja eólica que comprende un controlador tal como un controlador 62 central y sensores 64. En la realización ilustrada, el sistema 60 de control de granja eólica se puede hacer funcionar para monitorizar y controlar la granja 10 eólica usando una función de control de salida para acotar la variación de la salida de parque eólico para cumplir con los requisitos de los operadores de red de suministro/sistema de transmisión. El sistema 60 de control de granja eólica comprende adicionalmente sensores 64, tales como sensores de potencia, tensión y/o corriente, que están configurados para detectar salida de potencia individual y/o colectiva de la granja 10 eólica. Tal como se conoce en la técnica, los sensores 64 pueden estar acoplados a una salida del transformador 54 de estación (tal como se ilustra en la figura 2) o a un punto adecuado en la red 50 de distribución o en otra parte para proporcionar monitorización adecuada.
- Específicamente, el sistema 60 de control de granja eólica puede hacerse funcionar para generar una señal 66 de control, por ejemplo, una señal de control de variación de salida de potencia, basándose en señales monitorizadas por unidad de tiempo (por ejemplo, usando sensores 64 apropiados) y un límite de cambio de la salida recomendado por el servicio 56 público. El sistema 60 de control transmite tales señales 66 de control mediante un enlace 68 de comunicación a una o más turbinas 12, 14, 16 eólicas de la granja 10 eólica para controlar la tasa de cambio de la salida controlando uno o más parámetros de funcionamiento de las una o más turbinas 12, 14, 16 eólicas individuales.
- La comunicación de datos mediante medios de comunicación entre las turbinas individuales y el mecanismo 60 de control puede implementarse en hardware y/o software, mediante enlaces por cable o inalámbricos. Tales comunicaciones de datos pueden comprender, por ejemplo, señales indicativas de condiciones/estados de funcionamiento de las turbinas 12, 14, 16 eólicas transmitidas al controlador 62 central así como señales de control comunicadas por el controlador 62 central a las turbinas 12, 14, 16 eólicas individuales. El controlador 62 central puede estar adicionalmente en comunicación con la red 50 de distribución, y puede hacerse funcionar para controlar diversos dispositivos de conmutación en la red 50, con el fin de controlar la salida de potencia de la granja 10 eólica dentro de las especificaciones recomendadas por los operadores de red. Pueden proporcionarse enlaces de comunicación de señal y control adicionales tal como se conoce en la técnica.
- El sistema 60 de control puede comprender un controlador 62 central (tal como se muestra en la figura 2) que puede hacerse funcionar para monitorizar y controlar una salida de potencia colectiva de una pluralidad de turbinas eólicas en la granja eólica, o uno o más controladores individuales adecuados (no mostrados) que pueden hacerse funcionar para monitorizar y controlar salidas de potencia individuales de una pluralidad de turbinas eólicas en la granja eólica.
- Pasando ahora la figura 3, se ilustra un esquema 70 de control para control de variación que limita la salida hasta dentro de ciertas cotas estipuladas según aspectos de una realización de la invención. El esquema 70 de control puede hacerse funcionar para generar una señal 66 de control, por ejemplo, una señal limitativa de tasa de salida de potencia, basándose en señales monitorizadas por unidad de tiempo y un límite de cambio de la salida recomendado por el servicio 56 público. El servicio público puede recomendar, por ejemplo, que la salida de potencia de la granja no puede variar más de  $\Delta P$  desde la salida medida "n" segundos antes, incluso cuando la potencia disponible es mayor de lo recomendado. Para cumplir con este requisito, el esquema de control puede hacerse funcionar para controlar la tasa de cambio de la salida controlando uno o más parámetros de funcionamiento de las una o más turbinas eólicas individuales.
- En este diagrama particular de la figura 3, se supone que la potencia de planificación es el caso más probable de valor máximo, que es " $P_{t-n} + \Delta P$ " obtenido en la conexión 72 de suma, en la que " $P_{t-n}$ " representa la potencia en un tiempo "n" segundos antes y " $\Delta P$ " representa la variación o cota recomendada máxima para la que la salida de potencia de la granja no puede variar. Sin embargo, puede seleccionarse cualquier valor en el intervalo " $P_{t-n} \pm \Delta P$ ". La potencia de planificación  $P_{t-n} + \Delta P$  se compara con la potencia medida  $P_{med}$  (detectada por los sensores 64 de potencia) en la conexión 74 de diferencia, cuya salida (error e) se introduce al controlador 76 para control de potencia activa. El controlador 76 procesa el error e usando valores tales como valores proporcionales, integrales y

derivados, sumados para calcular la salida  $u$  del controlador tal como se conoce en la técnica. El controlador 76 puede comprender un controlador de PID, PI, PD, P o I, tal como se imponga por los requisitos particulares con ajuste apropiado para la respuesta de control deseada. El controlador 76 puede implementarse en controladores lógicos programables (PLC), controladores digitales, o como una implementación de software mediante un algoritmo de control particular.

Con el fin de limitar la salida  $u$  de controlador hasta dentro de ciertas cotas estipuladas según aspectos de una realización de la invención, se proporciona un limitador 78 implementado mediante hardware y/o software en la salida del controlador 76. El limitador 78 se puede hacer funcionar para limitar la salida  $u$  del controlador hasta dentro de ciertas cotas estipuladas en el intervalo de " $P_{t-n} +/- \Delta P$ " en el que " $P_{t-n} + \Delta P$ " representa una cota superior y " $P_{t-n} - \Delta P$ " representa una cota inferior. Si no se solicita o necesita una cota inferior, entonces el limitador 78 puede diseñarse para proporcionar sólo la cota superior, por ejemplo, " $P_{t-n} + \Delta P$ ". Acotando la salida  $u$  del controlador hasta entre el intervalo de " $P_{t-n} +/- \Delta P$ ", las variaciones de la salida  $u$  desde el controlador que superen estas cotas se restringirán a lo recomendado por la red de suministro. El intervalo  $P_{t-n} +/- \Delta P$  puede considerarse un intervalo máximo y cualquier valor en ese intervalo puede seleccionarse tal como se imponga por medio de los requisitos particulares.

El limitador 78 está configurado de tal manera que la señal de salida  $P_{salida}$  del limitador 78 está limitada por un valor máximo (y opcionalmente un valor mínimo) definido por la cota superior del limitador 78. En funcionamiento, la salida  $P_{salida}$  del limitador 78 es igual a la salida  $u$  del controlador como entrada al limitador 78 ( $P_{salida} = u$ ) hasta que la entrada supera la cota superior, en cuyo caso la señal de salida  $P_{salida}$  del limitador 78 es sustancialmente constante y está restringida al valor de cota superior, por ejemplo,  $P_{salida} = P_{t-n} + \Delta P$ . La señal de salida  $P_{salida}$  en la cota inferior puede restringirse de la misma manera,  $P_{salida} = P_{t-n} - \Delta P$ .

Colocando el limitador 78 después del controlador 76, el mecanismo de control limitará para cada etapa de tiempo (por ejemplo, por segundo) la tasa de variación de potencia de salida para cumplir con el requisito del servicio público. La señal de salida  $P_{salida}$  de limitador 78 se comunica a las turbinas eólicas para su control. Entonces, se calculan puntos de consigna basándose en esta señal de control. Dotando a cada turbina de un punto de consigna de potencia, las turbinas en la granja pueden usar entonces su controlador de turbina eólica local para rastrear este punto de consigna de potencia y activar el control de paso correspondiente, o similares. El esquema de control en la figura 3 puede implementarse mediante el controlador 62 central de la figura 2 o mediante controladores individuales o controladores distribuidos.

En términos generales, en funcionamiento la potencia de salida de una instalación de potencia eólica (granja/parque eólico) se controla para satisfacer los requisitos de un operador de red eléctrica que tiene una cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo restringiendo una señal de salida de un controlador hasta un límite superior y/o inferior mediante un limitador, en el que el límite superior y/o inferior comprende una cota superior y/o inferior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo. La señal de salida restringida se aplica entonces a la pluralidad de generadores de turbina eólica para limitar la variación de potencia de salida por unidad de tiempo según la cota predeterminada. Antes de la entrada dentro del controlador, se determina la potencia de planificación basándose en la cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo y una potencia de salida medida en una unidad de tiempo anterior. Se calcula una señal de error a partir de la diferencia entre la potencia de planificación y una potencia medida y se procesa la señal de error mediante un algoritmo de control de un controlador.

Pasando ahora a la figura 4, se muestra un diagrama 100 de flujo que muestra el funcionamiento de una realización de la invención. Como primera etapa 110, el límite de cambio de la salida recomendado por el servicio público  $\Delta P$  y la potencia en un tiempo " $n$ " segundos antes  $P_{t-n}$  se reciben como entradas para calcular la potencia de planificación  $P_{t-n} + \Delta P$ . A continuación, en la etapa 112, se calcula el error  $e$  a partir de la diferencia de la potencia de planificación  $P_{t-n} + \Delta P$  y la potencia medida  $P_{med}$  (detectada por sensores de potencia). Este error  $e$  se introduce en la etapa 114 al controlador (por ejemplo, controlador de P-I) para producir la señal de salida de control  $u$ . Después de eso, se introduce la señal de salida de control  $u$  en un limitador en la etapa 116 para aplicar los límites que restringen la señal de salida  $P_{salida}$  del limitador hasta  $P_{salida} = P_{t-n} +/- \Delta P$ , en el que cuando la señal de salida de control  $u$  se encuentra entre  $P_{t-n} +/- \Delta P$ ,  $P_{salida} = u$ , de lo contrario  $P_{salida}$  se restringe al límite superior o inferior según sea apropiado  $P_{salida} = P_{t-n} +/- \Delta P$ . Se repite el esquema de control para cada unidad de tiempo de tal manera que la salida de potencia de la granja no variará más de  $\Delta P$  desde la salida medida " $n$ " segundos antes.

La figura 5 es una ilustración gráfica que muestra los resultados de limitar en cada etapa de tiempo la tasa de variación de potencia de salida de una realización de la invención. Tal como se muestra en la misma, en ningún momento la salida de potencia de la granja eólica varía más de  $\Delta P$  desde la salida medida " $n$ " segundos antes, manteniendo de ese modo la variación de potencia de salida dentro de niveles especificados.

A continuación se presenta una situación de ejemplo para ilustrar el funcionamiento de la invención. En este ejemplo, un operador de sistema de potencia puede requerir que la salida de potencia de una central eólica aumente no más de 2 MW/minuto, independientemente de las condiciones del viento. Este requisito quiere decir que si la salida es de 20 MW en  $t = 0$  segundos, la salida en  $t = 60$  segundos no debe superar 22 MW. Y si la salida en  $t =$

2 segundos es de 21 MW, la salida en  $t = 62$  segundos no debe superar 23 MW, etc. La comprobación puede hacerse cada uno o dos segundos, por ejemplo. El motivo de esta limitación solicitada es que una tasa más rápida de aumento de salida puede provocar que el sistema active algunos generadores locales que tienen límites acerca de lo rápido que pueden disminuir en rampa.

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

Generalmente, se proporciona control de potencia activa (por ejemplo, control de P-I) que o bien intenta maximizar la cantidad de potencia o bien la mantiene a una planificación ( $P = \text{constante}$ ). La parte P (proporcional) del control intenta cambiar la salida de potencia para minimizar el error instantáneo con la potencia de punto de consigna y la parte I (integral) del control intenta minimizar el error promedio a lo largo del tiempo. Dado que la salida de potencia no restringida de una turbina eólica varía con el cubo de la velocidad del viento, incluso ráfagas de viento relativamente pequeñas pueden provocar grandes variaciones de potencia de salida. La parte integral del control suaviza estas variaciones hasta cierto punto, pero si hay una reducción a corto plazo de la velocidad del viento, la parte integral complementará realmente la parte proporcional para aumentar la salida de potencia. Por tanto, un momento de calma seguido por una ráfaga puede dar como resultado que la potencia de salida aumente incluso más del cubo de la velocidad del viento. Si el parque está emitiendo 20 MW, por ejemplo, a 7 m/s y la velocidad del viento disminuye a 6 m/s durante 10 segundos, la potencia de salida disminuirá en casi un 40% hasta 12,5 MW a lo largo de los siguientes 10 segundos. Si posteriormente la velocidad del viento aumenta hasta 8 m/s durante 10 segundos, la salida de potencia se disparará hasta casi 30 MW. Si el parque está manteniendo una planificación de 20 MW, la parte P del control intentará reducir el aumento por encima de 20 MW, pero la parte I intentará compensar en promedio la salida reducida, así que intentará forzar al parque a emitir mucho más de 20 MW. Si el parque no está restringido (es decir, intenta conseguir la potencia máxima, que puede ser, por ejemplo, de 50 MW), tanto la P como la I trabajarán conjuntamente para intentar maximizar la potencia de salida cuando la velocidad del viento aumenta.

Para abordar esta cuestión, el presente esquema de control permitirá que aumente la potencia, pero a una tasa que no supere el límite impuesto por el operador de red. Colocando el limitador después del controlador de P-I, la salida se limita a la cantidad restringida (o menos) independientemente de qué le indiquen los controles de potencia activa a la turbina que haga.

Por consiguiente, una ventaja de la presente invención es que el mecanismo/esquema de control maximizará la producción de energía de un parque eólico a la vez que mantiene simultáneamente la variación de potencia de salida dentro de niveles especificados. Una ventaja particular en zonas de ráfagas fuertes como Hawaii es que el mecanismo de control puede usarse para cumplir con requisitos de compañía energética de mantenerse dentro de un cierto cambio de +/- recomendado en MW de la salida registrada en cada etapa de tiempo anterior.

Basándose en la especificación anterior, la invención puede implementarse usando una diversidad de sistemas/instalaciones de energía renovable que tienen salida variable además de sistemas de turbina eólica (por ejemplo, generadores de electricidad que obtienen energía a partir de luz solar, lluvia, mareas, olas y/o calor geotérmico como fuente de energía). Estos sistemas pueden estar conectados a una carga, una red de suministro o un dispositivo de almacenamiento de energía, o una combinación de los mismos. Estos sistemas también pueden usarse en situaciones que incluyen generación distribuida, sistemas híbridos de potencia, energía eólica en alta mar, instalaciones en climas adversos, aplicaciones de propósito especial (bombeo, calentamiento, etc.), almacenamiento de energía y producción de combustible. Con respecto a aplicaciones de almacenamiento de energía, los dispositivos de almacenamiento de energía pueden incluir cualquier dispositivo de almacenamiento deseado con una capacidad de almacenamiento (por ejemplo baterías, bombeo hidroeléctrico, celdas de combustible, volantes, aire comprimido o combinaciones de los mismos) que sea dependiente de los requisitos del sistema. Los dispositivos de control adecuados pueden proporcionar órdenes al dispositivo de almacenamiento de energía así como otros componentes del sistema.

Además, la invención puede implementarse en un ordenador o dispositivo(s) informático(s)/de procesamiento usando técnicas de ingeniería o programación informática que incluyan software, firmware, hardware informáticos o cualquier combinación o subconjunto de los mismos. Cualquier programa resultante de este tipo, que tiene código legible por ordenador en el mismo, puede realizarse o proporcionarse dentro de uno o más medios legibles por ordenador no transitorios, elaborando de ese modo un producto de programa informático, es decir, un artículo de fabricación, según la invención. Los medios legibles por ordenador pueden ser, por ejemplo, una unidad (de disco duro) fija, disquete, disco óptico, cinta magnética, memoria de semiconductor tal como memoria de sólo lectura (ROM), etc.

Un experto en la técnica de ciencias informáticas podrá combinar fácilmente el código de programa creado tal como se describe con hardware informático de propósito general o propósito especial apropiados para crear un sistema informático o subsistema informático o dispositivo de procesamiento que realiza el método de la invención. Un aparato para elaborar, usar o vender la invención puede ser uno o más sistemas de procesamiento incluyendo, pero sin limitarse a, sensores, una unidad central de procesamiento (CPU), un procesador, memoria, dispositivos de almacenamiento, dispositivos y enlaces de comunicación, servidores, dispositivos de I/O o cualquier subcomponente de uno o más sistemas de procesamiento, incluyendo software, firmware, hardware o cualquier combinación o subconjunto de los mismos, que realizan la invención. La entrada de usuario puede recibirse desde un teclado,

- 5 ratón, memoria USB, voz, pantalla táctil o cualquier otro medio por el cual un ser humano pueda introducir datos en un ordenador, incluyendo a través de otros programas tales como programas de aplicación. La entrada de datos puede recibirse desde cualquiera de varios sensores o dispositivos de entrada de datos en comunicación con la misma, por cable o de manera inalámbrica. La salida puede comprender un monitor de ordenador, televisión, LCD, LED o cualquier otro medio para transmitir información al usuario. La salida puede comprender adicionalmente datos adaptados para controlar dispositivos externos, tales como una turbina eólica, en comunicación con la misma, por cable o de manera inalámbrica.

REIVINDICACIONES

1. Método (100) para controlar la potencia de salida de una instalación (10) de energía renovable, que comprende:
  - (a) procesar las señales de potencia monitorizadas para producir una señal de salida ( $P_{salida}$ );
  - (b) restringir la señal de salida ( $P_{salida}$ ) a un límite superior ( $P_{t-n} + \Delta P$ ) mediante un limitador (78), en el que el límite superior comprende una cota superior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo;
  - (c) aplicar (116) la señal de salida restringida ( $P_{salida}$ ) a la pluralidad de generadores (12, 14, 16) de electricidad para limitar la variación de potencia de salida por unidad de tiempo según la cota predeterminada,

caracterizado porque procesar las señales de potencia monitorizadas comprende:

  - determinar (110) una potencia de planificación ( $P_{t-n} + \Delta P$ ) basándose en una cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo con respecto a una potencia de salida ( $P_{t-n}$ ) medida en una unidad de tiempo anterior;
  - calcular (112) una señal de error (e) a partir de una diferencia entre la potencia de planificación y una potencia medida ( $P_{med}$ ); y
  - procesar (114) la señal de error (e) mediante un algoritmo de control de un controlador (76) para producir la señal de salida.
2. Método (100) según la reivindicación 1, que comprende además monitorizar señales de potencia de la instalación de energía renovable recibiendo una o más señales de potencia desde uno o más sensores (64).
3. Método (100) según la reivindicación 1, en el que aplicar la señal de salida restringida ( $P_{salida}$ ) a la pluralidad de generadores (12, 14, 16) de electricidad comprende comunicar señales de control que comprenden un punto de consigna de potencia activa para controlar uno o más parámetros de funcionamiento de uno o más generadores de electricidad individuales en la instalación de energía renovable.
4. Método (100) según la reivindicación 1, en el que controlar una potencia de salida ( $P_{salida}$ ) de una pluralidad de generadores (12, 14, 16) de electricidad comprende controlar, mediante un controlador (62) central que puede hacerse funcionar para monitorizar y controlar, una salida de potencia colectiva de la pluralidad de generadores de electricidad en la instalación de energía renovable.
5. Método (100) según la reivindicación 1, que comprende además recibir la cota predeterminada para la variación de potencia de salida por unidad de tiempo recomendada por una red (56) de suministro.
6. Método (100) según la reivindicación 5, en el que la cota predeterminada se comunica como una cota cuya salida no puede variar más de un cambio especificado de potencia de salida desde una potencia de salida medida en una unidad de tiempo especificada.
7. Método (100) según la reivindicación 1, en el que procesar las señales de potencia monitorizadas comprende control de potencia activa que aplica, mediante un algoritmo de control de un controlador (76), uno o más de valores proporcionales, integrales y derivados a una señal de entrada (e) para producir la señal de salida (u,  $P_{salida}$ ).
8. Método (100) según la reivindicación 1, que comprende además restringir la señal de salida del controlador a un límite inferior mediante el limitador (78), en el que el límite inferior ( $P_{t-n} - \Delta P$ ) comprende una cota inferior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo.
9. Método (100) según la reivindicación 1, en el que restringir la señal de salida comprende:
  - cuando la señal de salida permanece en o por debajo de la cota superior ( $P_{t-n} + \Delta P$ ), la señal de salida restringida ( $P_{salida}$ ) del limitador es igual a la señal de salida, y
  - cuando la señal de salida supera la cota superior ( $P_{t-n} + \Delta P$ ), la señal de salida restringida ( $P_{salida}$ ) del

limitador es sustancialmente constante y está restringida al valor de cota superior.

- 5
10. Método (100) según la reivindicación 1, en el que los generadores (12, 14, 16) de electricidad comprenden turbinas eólicas.
11. Método (100) según la reivindicación 1, que comprende además controlar mediante un controlador (62) central un sistema de almacenamiento de energía de la instalación (10) de energía renovable.
- 10
12. Sistema (60) para controlar la potencia de salida de una instalación (10) de energía renovable que comprende un dispositivo (62) de control para controlar una potencia de salida de una pluralidad de generadores (12, 14, 16) de electricidad usando señales de potencia monitorizadas, en el que el dispositivo (62) de control comprende:
- 15
- (a) un controlador (70) que procesa las señales de potencia monitorizadas para producir una señal de salida;
- (b) un limitador (78) que restringe la señal de salida del controlador a un límite superior, en el que el límite superior comprende una cota superior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo,
- 20
- en el que el dispositivo (62) de control está adaptado para transmitir la señal de salida restringida a la pluralidad de generadores (12, 14, 16) de electricidad para limitar la variación de potencia de salida por unidad de tiempo según la cota predeterminada;
- 25
- caracterizado porque el controlador (70) que procesa las señales de potencia está adaptado para:
- determinar una potencia de planificación basándose en una cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo con respecto a una potencia de salida medida en una unidad de tiempo anterior;
- 30
- calcular una señal de error a partir de una diferencia entre la potencia de planificación y una potencia medida; y
- 35
- procesar la señal de error mediante un algoritmo de control de un controlador para producir la señal de salida.
13. Sistema (60) según la reivindicación 12, que comprende además uno o más sensores (64) para monitorizar señales de potencia de la instalación (10) de energía renovable recibiendo una o más señales de potencia.
- 40
14. Sistema (60) según la reivindicación 12, en el que la señal de salida restringida comprende un punto de consigna de potencia activa adaptado para controlar uno o más parámetros de funcionamiento de uno o más generadores (12, 14, 16) de electricidad individuales en la instalación (10) de energía renovable.
- 45
15. Sistema (60) según la reivindicación 12, en el que el dispositivo (62) de control comprende un controlador central que puede hacerse funcionar para monitorizar y controlar una salida de potencia colectiva de la pluralidad de generadores (12, 14, 16) de electricidad en la instalación (10) de energía renovable.
- 50
16. Sistema (60) según la reivindicación 12, que comprende además una memoria para almacenar la cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo recomendada por una red (56) de suministro.
- 55
17. Sistema (60) según la reivindicación 16, en el que la cota predeterminada comprende una cota cuya salida no puede variar más de un cambio especificado de potencia de salida desde una potencia de salida medida en una unidad de tiempo anterior especificada.
- 60
18. Sistema (60) según la reivindicación 12, en el que el controlador (70) está adaptado para proporcionar control de potencia activa mediante un algoritmo (76) de control que incluye uno o más de valores proporcionales, integrales y derivados aplicados a una señal de entrada para producir la señal de salida.
- 60
19. Sistema (60) según la reivindicación 12, que comprende además restringir la señal de salida del controlador a un límite inferior mediante el limitador (78), en el que el límite inferior comprende una cota inferior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo.
- 65
20. Sistema (60) según la reivindicación 12, en el que restringir la señal de salida comprende:
- cuando la señal de salida permanece en o por debajo de la cota superior, la señal de salida restringida del

limitador es igual a la señal de salida, y

cuando la señal de salida supera la cota superior, la señal de salida restringida del limitador es sustancialmente constante y está restringida al valor de cota superior.

5 21. Sistema (60) según la reivindicación 12, en el que los generadores (12, 14, 16) de electricidad comprenden turbinas eólicas.

10 22. Sistema (60) según la reivindicación 12, en el que el dispositivo (62) de control puede hacerse funcionar adicionalmente para monitorizar y controlar un sistema de almacenamiento de energía de la instalación (10) de energía renovable.

15 23. Medio legible por ordenador no transitorio que contiene instrucciones que, cuando se ejecutan por un procesador, realizan acciones para controlar la potencia de salida de una instalación (10) de energía renovable, que comprende instrucciones para:

controlar (100) una potencia de salida de una pluralidad de generadores de electricidad usando señales de potencia monitorizadas, en el que el control (100) comprende:

20 (a) procesar las señales de potencia monitorizadas para producir una señal de salida;

(b) restringir la señal de salida del controlador a un límite superior mediante un limitador, en el que el límite superior comprende una cota superior predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo;

25 (c) aplicar (116) la señal de salida restringida a la pluralidad de generadores de electricidad para limitar la variación de potencia de salida por unidad de tiempo según la cota predeterminada;

30 caracterizado porque las instrucciones para procesar las señales de potencia monitorizadas comprenden además:

determinar (110) una potencia de planificación basándose en una cota predeterminada para una variación de potencia de salida por unidad de tiempo con respecto a una potencia de salida medida en una unidad de tiempo anterior;

35 calcular (110) una señal de error a partir de una diferencia entre la potencia de planificación y una potencia medida; y

40 procesar (114) la señal de error mediante un algoritmo de control de un controlador para producir la señal de salida.

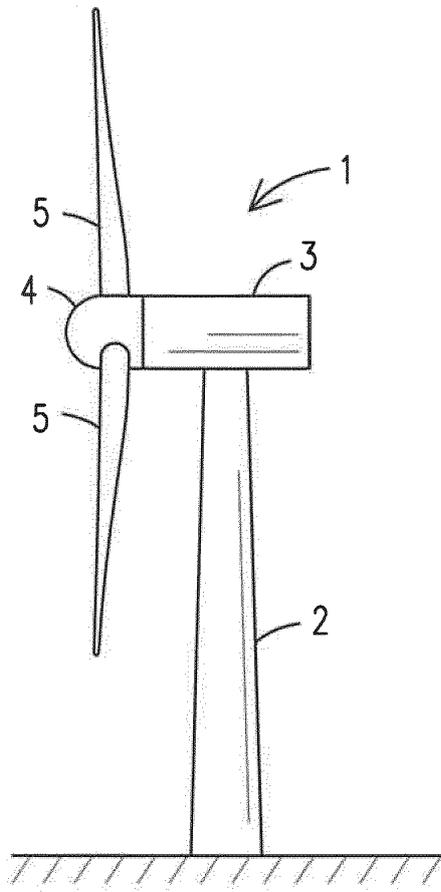


FIG. 1

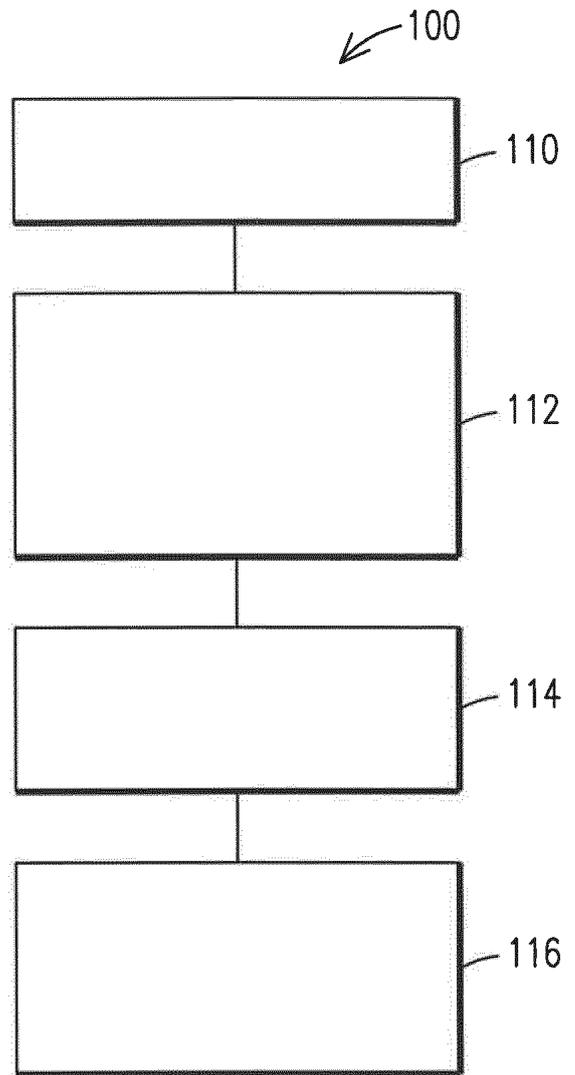


FIG. 4

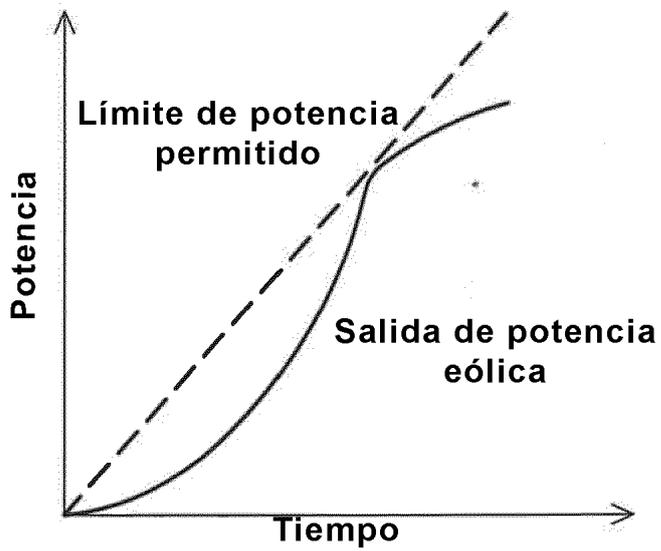


FIG. 5

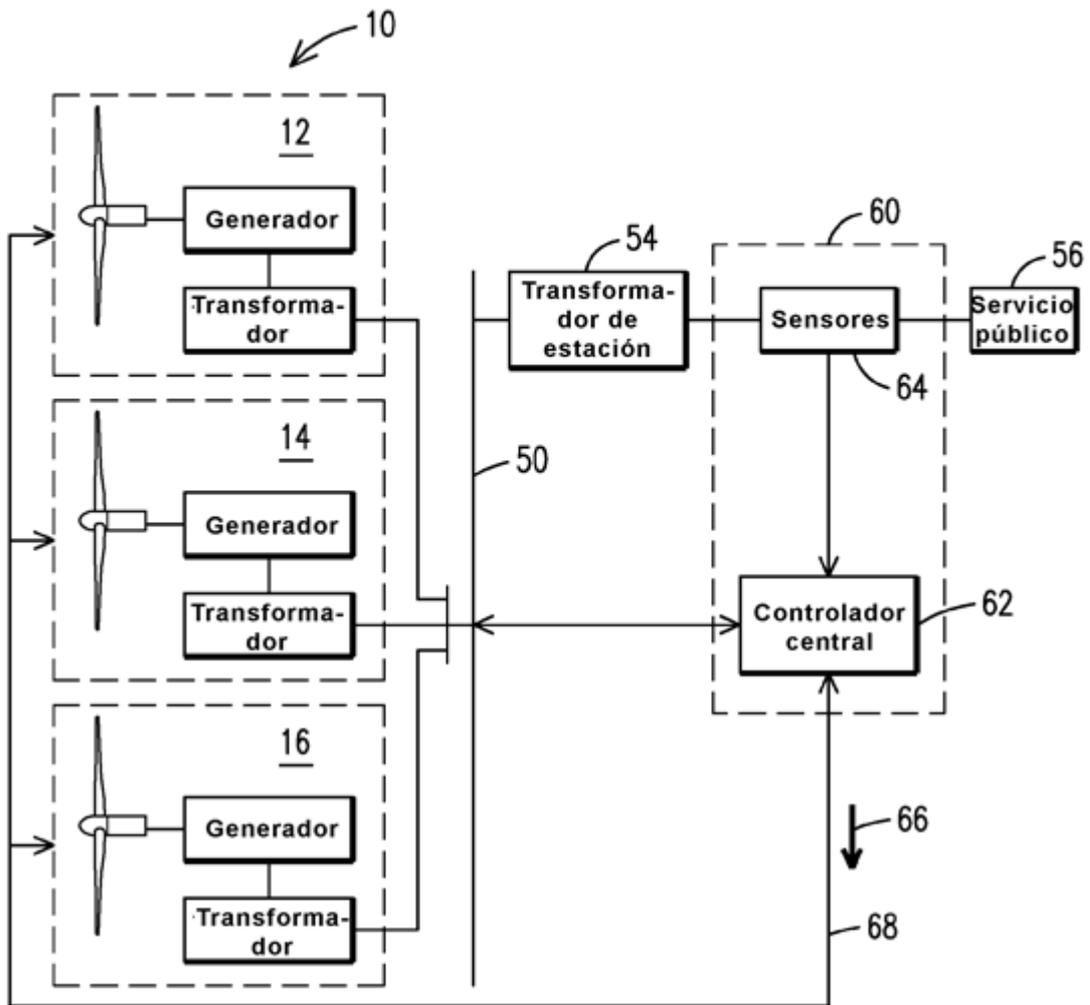


FIG. 2

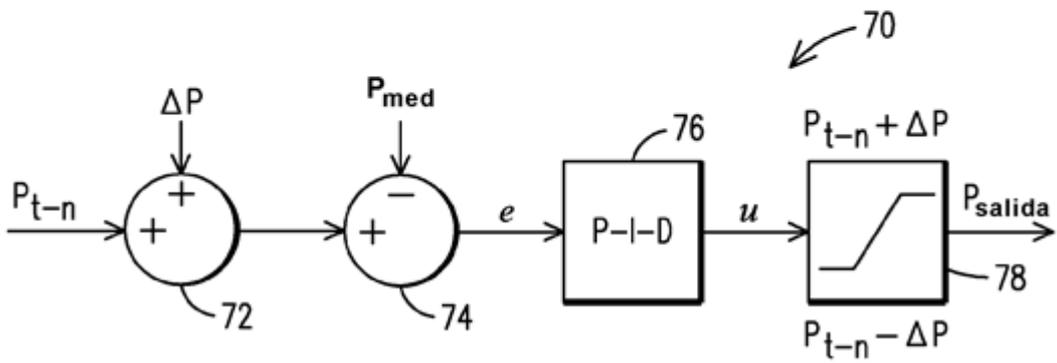


FIG. 3