

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 601 501**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.12.2011 PCT/DK2011/050464**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2012 WO12076014**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2011 E 11818996 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2016 EP 2649309**

54 Título: **Regulación dinámica de la producción de centrales eléctricas basándose en características de red eléctrica**

30 Prioridad:

07.12.2010 US 962218

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

15.02.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SØBRINK, KENT HANS;
HAJ-MAHARSI, MOHAMED y
SINGH, SUNITA**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 601 501 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

Regulación dinámica de la producción de centrales eléctricas basándose en características de red eléctrica

Antecedentes

5 Esta solicitud se refiere generalmente a la generación de energía eléctrica y, más específicamente, a métodos, sistemas, y productos de programas informáticos para su uso en regular la potencia emitida de los mismos.

10 Un granja eólica, o parque eólico, incluye un grupo de turbinas eólicas que funcionan de manera colectiva como una central eléctrica que genera una potencia emitida a una red eléctrica. Pueden usarse turbinas eólicas para producir energía eléctrica sin necesidad de combustibles fósiles. Generalmente, una turbina eólica es una máquina rotativa que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica y la energía mecánica posteriormente en energía eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal convencionales incluyen una torre, una góndola ubicada en el vértice de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola por un árbol. Un generador, que está alojado dentro de la góndola, está acoplado con el rotor por el árbol. Las corrientes de viento activan el rotor que transfiere un par al generador. El generador produce energía eléctrica que se emite finalmente a la red eléctrica.

15 Debido a la intermitencia natural del viento así como averías que suceden cuando una línea de transmisión de una turbina eólica o la propia turbina eólica falla, la potencia emitida de una turbina eólica o parque eólico particular es menos consistente que la potencia emitida de centrales eléctricas convencionales que funcionan con combustibles fósiles. Como resultado, la potencia de turbinas eólicas que funcionan en condiciones nominales en un parque eólico puede no cumplir con los requisitos de producción para la red eléctrica, dando como resultado en disminución de frecuencia de la red eléctrica. Por ejemplo, la potencia de la central eléctrica eólica a menudo no seguirá la potencia pronosticada debido al pronóstico del viento, línea de transmisión, o errores en la turbina eólica. Como otro ejemplo, la velocidad de cambio de potencia para una central eléctrica eólica puede estar fuera de un intervalo deseado debido a ráfagas de viento. Un enfoque convencional para tratar con éstas y otras situaciones similares es usar controles de turbina eólica para gestionar el funcionamiento del parque eólico, tal como utilizar control de paso de las palas de rotor para aumentar o disminuir, dentro de unos límites, la potencia producida por las turbinas eólicas individuales, así como usar un sistema de frenado para disminuir, dentro de unos límites, la potencia producida por las turbinas eólicas individuales.

30 Además, debido a que se añaden y se retiran cargas de la red eléctrica, la potencia emitida de una turbina eólica o parque eólico particular necesita regularse para mantener la red eléctrica en sus intervalos nominales para potencia y frecuencia, por nombrar algunos ejemplos. Como resultado, la potencia de turbinas eólicas puede no cumplir con los requisitos de producción para la red eléctrica. Por ejemplo, una carga puede añadirse a la red eléctrica y dar como resultado una disminución de frecuencia de la red eléctrica. Por otro lado, una retirada abrupta de una carga puede dar como resultado un aumento de frecuencia de la red eléctrica. Aunque algunos sistemas convencionales simplemente dan como resultado una eliminación de carga (para aumentar la frecuencia de la red eléctrica si se disminuye más allá de un umbral predeterminado) o eliminación de generador (para disminuir la frecuencia de la red eléctrica si se aumenta más allá de otro umbral predeterminado), un enfoque más convencional para tratar con éstas y otras situaciones similares es de nuevo usar controles de turbina eólica para gestionar el funcionamiento del parque eólico, tal como utilizar control de paso de las palas de rotor para aumentar o disminuir, dentro de unos límites, la potencia producida por las turbinas eólicas individuales.

40 Como tal, las turbinas eólicas se hacen funcionar en un modo restringido. En el modo restringido, las turbinas eólicas no están generando toda la potencia disponible del viento o disponible de otro modo. La diferencia entre la potencia que se genera y la máxima potencia disponible, o "margen de control", puede ser bastante amplia, tal como aproximadamente ,5 MW de amplio, y se usa para la producción de potencia adicional de emergencia.

45 Un aumento o disminución de la frecuencia de una red eléctrica a menudo sucede en fracciones de un segundo. Cambiar el paso de las palas para regular el funcionamiento de la turbina eólica en el modo restringido a menudo no tarda menos de unos segundos, ya que existe un retraso asociado con la determinación o de otro modo la comunicación de una orden a una turbina eólica para regular el paso de las palas así como un retraso de cualquier mecanismo de regulación de paso para realmente cambiar el paso de las palas. Además, existe un retraso asociado con el aumento o disminución en la velocidad de las palas de la turbina eólica en respuesta a la regulación del paso de las palas, y por tanto un retraso cuando la potencia real emitida de una turbina eólica aumenta o disminuye. Además, hacer funcionar una turbina eólica en un modo restringido necesariamente da como resultado en que la turbina eólica produzca menos potencia que la que estará disponible. Específicamente, el modo restringido puede requerir que se apliquen frenos a la turbina eólica para mantener la generación de potencia en el medio del margen de control. Además, el funcionamiento de las turbinas eólicas a velocidades inferiores a las posibles a menudo aumenta la tensión en las palas, rotores, y otros componentes mecánicos de las turbinas eólicas. Esto da como resultado el aumento de desgaste en componentes de turbina eólica así como el aumento de costes para mantenimiento, sustitución, y funcionamiento.

55 Se necesitan métodos, sistemas, y productos de programas informáticos para coordinar la generación de potencia por turbinas eólicas en un parque eólico. Un primer intento se muestra en la publicación "Contribution of VSC-HVDC

Connected Wind Farms to Grid Frequency Regulation and Power Damping” por Wang *et al.*, IECON 2010, Piscataway, EEUU, Noviembre 2010, páginas 397-402.

Breve resumen

5 Generalmente, los algoritmos de control de las realizaciones de la invención reciben información sobre la frecuencia de una red eléctrica que recibe potencia de una central eléctrica, y regula el nivel de potencia emitida por la central eléctrica cuando la frecuencia cae demasiado bajo o sube demasiado alto.

10 En una realización de la invención, se proporciona una central eléctrica para controlar la potencia emitida a una red eléctrica. La central eléctrica incluye un parque eólico con una pluralidad de turbinas eólicas configuradas para generar y emitir una señal de potencia de parque eólico a un punto de conexión común, incluyendo cada turbina eólica un mecanismo de paso para controlar el paso de las palas de la turbina eólica respectiva y un convertidor de potencia de turbina para emitir una parte de la señal de potencia de parque eólico generada por la turbina eólica respectiva. La central eléctrica también incluye un convertidor de potencia de red conectado al punto de conexión común y configurado para recibir la señal de potencia de parque eólico y emitir una señal de potencia para la red eléctrica, así como un sensor para medir una frecuencia de la red eléctrica. La central eléctrica incluye además un controlador de supervisión acoplado en comunicación con cada una de las turbinas eólicas del parque eólico, el convertidor de potencia de red, y el sensor. El controlador de supervisión está configurado para implementar un algoritmo de control que a su vez regula de manera dinámica la señal de potencia en respuesta a la caída de la frecuencia medida por el sensor por debajo de una frecuencia predeterminada. El algoritmo de control regula de manera dinámica la señal de potencia cambiando el paso de las palas de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, aumentando el nivel de la parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por el convertidor de potencia de turbina de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, y aumentando el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red.

25 En otra realización de la invención, se proporciona un método implementado por ordenador para controlar la potencia emitida por una central eléctrica a una red eléctrica. La central eléctrica es del tipo que incluye un parque eólico que emite una señal de potencia de parque eólico y un convertidor de potencia de red que recibe la señal de potencia de parque eólico y emite una señal de potencia para la red eléctrica. El método comprende, en respuesta a la caída de una frecuencia medida de la red eléctrica por debajo de una primera frecuencia objetivo, usar un algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia cambiando el paso de las palas de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, aumentando el nivel de una parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por un convertidor de potencia de turbina de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, y aumentando el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red.

El método puede implementarse como un producto de programa informático en el que se almacenan instrucciones para realizar el método en un medio de almacenamiento legible por ordenador.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

35 Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran varias realizaciones de la invención y, junto con una descripción general de la invención dada anteriormente y la descripción detallada de las realizaciones dada a continuación, sirven para explicar las realizaciones de la invención.

La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica.

40 La figura 2 es una vista en perspectiva de una parte de la turbina eólica de la figura 1 en la que la góndola está parcialmente separada para exponer estructuras alojadas dentro de la góndola.

La figura 3 es una vista diagramática de central eléctrica que incluye un parque eólico con múltiples turbinas eólicas como la turbina eólica de las figuras 1 y 2, un dispositivo de almacenamiento de energía, y un controlador de central eléctrica según una realización de la invención.

La figura 4 es una vista diagramática de un convertidor de potencia para la turbina eólica de las figuras 1 y 2.

45 La figura 5 es una vista diagramática de un convertidor de potencia para la central eléctrica de la figura 3.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de operaciones para el controlador de central eléctrica de la figura 3 para regular la potencia emitida por la central eléctrica en respuesta a un aumento de la frecuencia de una red eléctrica conectada al mismo.

50 La figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de operaciones para el controlador de central eléctrica de la figura 3 para regular la potencia emitida por la central eléctrica en respuesta a una reducción de la frecuencia de la red eléctrica conectada al mismo.

La figura 8 es un gráfico que muestra los efectos separados que tiene la regulación del paso de las palas de la turbina eólica de las figuras 1 y 2, la regulación de la potencia emitida por el convertidor de potencia de la figura 4, y la regulación del convertidor de potencia de la figura 5 sobre el cambio en la frecuencia de una red eléctrica, así

como retrasos de tiempo asociados con ellos.

La figura 9 es un gráfico que muestra los efectos combinados que tienen la regulación del paso de las palas de la turbina eólica de las figuras 1 y 2, la regulación de la potencia emitida por el convertidor de potencia de la figura 4, y la regulación del convertidor de potencia de la figura 5 sobre el cambio en la frecuencia de una red eléctrica a lo largo del tiempo.

Descripción detallada

Con referencia a las figuras 1 y 2 y según una realización de la invención, una turbina eólica 10, que está ilustrada como una máquina de eje horizontal, incluye una torre 12, una góndola 14 dispuesta en el vértice de la torre 12, y un rotor 16 acoplado de manera operativa a un generador 20 alojado dentro de la góndola 14. Además del generador 20, la góndola 14 aloja componentes misceláneos requeridos para convertir energía eólica en energía eléctrica y varios componentes necesarios para hacer funcionar, controlar y optimizar la prestación de la turbina eólica 10. La torre 12 soporta la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16, y otros componentes de la turbina eólica 10 que están alojados dentro de la góndola 14 sobre un cimiento subyacente. La torre 12 de la turbina eólica 10 también funciona para elevar la góndola 14 y el rotor 16 a una altura sobre el nivel del suelo o el nivel del mar, como sea el caso, a la que normalmente se encuentran corrientes de aire de movimiento más rápido de menor turbulencia.

El rotor 16 incluye un buje central 22 y una pluralidad de palas 24 unidas al buje central 22 en ubicaciones circunferencialmente distribuidas alrededor del buje central 22. En la realización representativa, el rotor 16 incluye una pluralidad de tres palas 24 pero el número puede variar. Las palas 24, que se extienden radialmente hacia fuera del buje central 22, están configuradas para interactuar con las corrientes de aire pasantes para producir sustentación aerodinámica que hace que el buje central 22 gire alrededor de su eje longitudinal. El diseño, la construcción, y el funcionamiento de las palas 24 se conocen a un experto habitual en la técnica. Por ejemplo, cada una de las palas 24 está conectada al buje central 22 y acoplada a un mecanismo de control de paso de pala 25 (o, más simplemente, "mecanismo de paso" 25) que permite regular el paso de la pala 24. Los mecanismos de paso 25 están a su vez bajo el control de uno o más controladores de paso 27 (figura 3). La góndola 14 y el rotor 16 están acoplados por un cojinete con la torre 12 y se usa un sistema de guiñada motorizado (no mostrado) para mantener el rotor 16 alineado con la dirección del viento.

Un árbol de transmisión de baja velocidad 26 está mecánicamente acoplado en un extremo con el buje central 22 del rotor 16 y se extiende al interior de la góndola 14. El árbol de transmisión de baja velocidad 26 se soporta de manera giratorio por un conjunto de cojinete principal 28 acoplado al bastidor de la góndola 14. El árbol de transmisión de baja velocidad 26 está acoplado a una caja de engranajes 30 que tiene como entrada el árbol de transmisión de baja velocidad 26, y que tiene como salida un árbol de transmisión de alta velocidad 32 que está acoplado de manera operativa al generador 20. El generador 20 puede ser cualquier tipo de generador síncrono o generador asíncrono tal como reconocerá un experto habitual en la técnica y se entiende generalmente que es una máquina eléctrica rotativa que convierte energía mecánica en energía eléctrica creando movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor.

La salida del generador 20 está acoplado a un convertidor de potencia de turbina 34 para recibir la tensión de CA generada por el generador 20 de la turbina eólica 10 y suministrar una tensión de CA a un sistema de almacenamiento de energía 44 y/o un sistema de convertidor de red 45 (figura 3) a través de un punto de conexión común 38.

El viento que supera un nivel mínimo activa el rotor 16 y hace que las palas 24 rote en un plano sustancialmente perpendicular a la dirección del viento. El par positivo transferido desde el rotor 16 al generador 20 hace que el generador 20 convierta la energía mecánica en energía eléctrica CA de modo que se explota la energía cinética del viento para la generación de potencia por la turbina eólica 10. La turbina eólica 10 se caracteriza por una curva de potencia que describe la producción de potencia generada como una función de la velocidad del viento y la turbina eólica 10 se hace funcionar con reconocimiento de velocidades de viento de conexión, nominal, y desconexión.

Con referencia a la figura 3, una central eléctrica 40 incluye una granja eólica o parque eólico 42 que contiene un grupo de turbinas eólicas 10a, 10b ubicadas en una ubicación física común, un sistema de almacenamiento de energía 44, y un sistema de convertidor de red 45, así como un controlador de central eléctrica 46 que proporciona control de supervisión sobre la central eléctrica 40. La central eléctrica 40, y en particular el sistema de convertidor de red 45 de la central eléctrica 40, está acoplado eléctricamente con una red eléctrica 48, que puede ser una red eléctrica trifásica. Las turbinas eólicas 10a, 10b tienen cada una una construcción similar o idéntica a la construcción de la turbina eólica 10 representativa. El parque eólico 42 puede contener turbinas eólicas adicionales (no mostradas) como las turbinas eólicas 10a, 10b representativas de modo que el número total de turbinas eólicas en el parque eólico 42 es razonablemente arbitraria. En varias realizaciones, el parque eólico 42 puede incluir desde diez (10) hasta cien (100) turbinas eólicas distribuidas por decenas de kilómetros cuadrados de superficie terrestre y/o marítima.

Un convertidor de potencia de turbina 34a, 34b está configurado para recibir tensión de CA generada por el generador 20 de cada unas de las turbinas eólicas 10a, 10b respectivas y para suministrar una tensión de CA al

sistema de almacenamiento de energía 44 y/o el sistema de convertidor de red 45 a través del punto de conexión común 38. Cada una de las turbinas eólicas 10a, 10b incluye un controlador de turbina eólica 36a, 36b respectivo que gestiona el funcionamiento de los componentes de turbina eólica y subsistemas implementando, por ejemplo, controles de paso, controles de guiñada, controles de generador, controles de convertidor de potencia de turbina, etc. En un aspecto de la gestión de turbinas, cada de los controladores de turbina eólica 36a, 36b está acoplado en comunicación con uno respectivo de los convertidores de potencia de turbina 34a, 34b y genera señales de control para controlar la potencia emitida por el convertidor de potencia de turbina 34a, 34b. En respuesta a las señales de control, cada convertidor de potencia de turbina 34a, 34b rectifica la tensión de CA de un generador respectivo 20 de la turbina eólica 10a, 10b para obtener una tensión de CC filtrada, regula de manera dinámica el nivel de la tensión de CC filtrada, y entonces convierte la tensión de CC en una tensión de CA a una frecuencia constante deseada (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz) que se emite como corriente alterna (CA) trifásica al sistema de almacenamiento de energía 44 y el sistema de convertidor de red 45. Los controladores de turbina eólica 36a, 36b pueden controlar las funciones de otros subcontroladores que controlan localmente partes de cada turbina eólica 10a, 10b, tal como el control de paso 27 sobre las palas 24 del rotor 16.

El sistema de almacenamiento de energía 44 incluye un dispositivo de almacenamiento de energía 50, un convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52, y un controlador de almacenamiento de energía 54 que gestiona el funcionamiento del convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52. El dispositivo de almacenamiento de energía 50 está acoplado al sistema de convertidor de red 45 y se dispone paralelo a los generadores 20 de las turbinas eólicas 10a, 10b en el parque eólico 42. El controlador de almacenamiento de energía 54 está acoplado en comunicación con el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 y genera señales de control que se suministran como órdenes al convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52.

En la realización representativa, el dispositivo de almacenamiento de energía 50 incluye una o más baterías recargables. Baterías ejemplares pueden basarse en pilas de almacenamiento electroquímico e incluyen, pero no se limitan a, baterías de plomo, de ión litio, y redox de vanadio. Otras baterías ejemplares incluyen, pero no se limitan a, baterías de metal-aire, níquel-cadmio, sodio-azufre, y cinc-bromuro. En realizaciones alternativas, el dispositivo de almacenamiento de energía 50 puede ser un tipo diferente de dispositivo, tal como un volante o una batería de condensadores (tal como condensadores electroquímicos), capaces de recibir y almacenar establemente energía eléctrica, y también capaces de descargar la energía eléctrica almacenada bajo el control del controlador de central eléctrica 46. En otra realización alternativa, el dispositivo de almacenamiento de energía 50 puede ser híbrido en el sentido de que el dispositivo de almacenamiento de energía 50 puede incluir dispositivos de diferentes tipos, tales como uno o más volantes, uno o más baterías de condensadores, una o más baterías recargables, o combinaciones de estos dispositivos.

El controlador de almacenamiento de energía 54, junto con los controladores de turbina eólica 36a, 36b, controla la capacidad del dispositivo de almacenamiento de energía 50 para recibir y almacenar energía de las turbinas eólicas 10a, 10b en el parque eólico 42. El exceso de energía producido por las turbinas eólicas 10a, 10b puede almacenarse en el dispositivo de almacenamiento de energía 50. En respuesta a señales de control de los controladores de turbina eólica 36a, 36b respectivos, los convertidores de potencia de turbina 34a, 34b están configurados para desviar energía eléctrica producida por los generadores 20 de las turbinas eólicas 10, 10b al convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 del dispositivo de almacenamiento de energía 50. El convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 está configurado para convertir la(s) tensión(es) de CA de los convertidores de potencia de turbina 34a, 34b de las turbinas eólicas 10a, 10b respectivas del parque eólico 42 en una tensión de CC, regular el nivel de tensión de la tensión de CC para la compatibilidad con el dispositivo de almacenamiento de energía 50, y enviar la tensión de CC al dispositivo de almacenamiento de energía 50 que almacena la energía eléctrica contenida en la tensión de CC.

Por orden de las señales de control recibidas del controlador de almacenamiento de energía 54, puede ordenarse al convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 descargar energía almacenada de manera controlada como tensión de CC del dispositivo de almacenamiento de energía 50 al convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52. El convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52, que puede ser similar a los convertidores de potencia de turbina 34a, 34b, está configurado para recibir la tensión de CC emitida del dispositivo de almacenamiento de energía 50, filtrar la tensión de CC, y entonces convertir la tensión de CC filtrada en una tensión de CA a la frecuencia constante apropiada. La tensión de CA se emite entonces del sistema de almacenamiento de energía 44 como potencia de CA trifásica al sistema de convertidor de red 45.

El sistema de convertidor de red 45 incluye un convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 y un controlador de convertidor de red 58 que gestiona el funcionamiento del convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56. El convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 está configurado para recibir la(s) tensión(es) de CA del parque eólico 42 y/o sistema de almacenamiento de energía 44, convertir la tensión de CA del parque eólico 42 y/o la tensión de CA del sistema de almacenamiento de energía 44 para obtener una tensión de CC filtrada, regular de manera dinámica el nivel de la tensión de CC filtrada de modo que se produce una señal de CC de alta tensión (HVDC), y entonces convertir la señal de HVDC a una tensión de CA a una frecuencia constante deseada que se emite como CA trifásica a la red eléctrica 48.

5 El controlador de central eléctrica 46 está conectado en comunicación con los controladores de turbina eólica 36a, 36b en el parque eólico 42. El viento interactúa con las turbinas eólicas 10a, 10b, tal como se explicó anteriormente, para generar energía eléctrica del par suministrado por el rotor 16 al generador 20. Señales de control del controlador de central eléctrica 46 se usan por cada uno de los controladores de turbina eólica 36a, 36b para variar de manera dinámica la producción de la respectiva turbina eólica 10a, 10b en el parque eólico 42 para cumplir con ciertos requisitos de producción sobre la energía eléctrica generada. En respuesta a una señal de control recibida del controlador de central eléctrica 46, cada uno de los controladores de turbina eólica 36a, 36b puede, por ejemplo, controlar la guiñada de la góndola 14 y el rotor 16. También en respuesta a una señal de control recibida del controlador de central eléctrica 46, cada uno de los controladores de turbina eólica 36a, 36b puede controlar un controlador de paso 27a, 27b respectivo para controlar el paso de las palas 24 para limitar la velocidad de rotación de la turbina eólica 10a, 10b respectiva. Además, en respuesta a una señal de control recibida del controlador de central eléctrica 46, cada uno de los controladores de turbina eólica 36a, 36b puede, por ejemplo, controlar el funcionamiento de los convertidores de potencia de turbina 34a, 34b respectivos para regular la tensión de CA emitida por las turbinas eólicas 10a, 10b respectivas.

15 El controlador de central eléctrica 46 también está conectado en comunicación con el controlador de almacenamiento de energía 54 que sirve al sistema de almacenamiento de energía 44. Señales de control del controlador de central eléctrica 46 se usan por el controlador de almacenamiento de energía 54 para regular el funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía 50 y el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52. En particular, las señales de control del controlador de central eléctrica 46 se usan para regular la descarga de energía desde el dispositivo de almacenamiento de energía 50 del sistema de almacenamiento de energía 44 y la carga del dispositivo de almacenamiento de energía 50.

25 El controlador de central eléctrica 46 está configurado para controlar una cantidad de energía eléctrica emitida de la central eléctrica 40 a la red eléctrica 48. Como tal, el controlador de central eléctrica 46 está conectado en comunicación con el sistema de convertidor de red 45. Señales de control del controlador de central eléctrica 46 se usan por el controlador de convertidor de red 58 para regular el funcionamiento del convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56. En respuesta a una señal de control recibida del controlador de central eléctrica 46, el controlador de convertidor de red 58 puede, por ejemplo, controlar el funcionamiento del convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 para regular la tensión de CA emitida a la red eléctrica 48. La potencia emitida de la central eléctrica 40 normalmente incluye una contribución de cada una de las turbinas eólicas 10 en el parque eólico 42 y puede incluir una contribución del sistema de almacenamiento de energía 44, aunque el sistema de almacenamiento de energía 44 puede consumir potencia al cargarse. El convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 puede incluir un transformador para aumentar la tensión de la corriente eléctrica que llega desde el parque eólico 42 y/o sistema de almacenamiento de energía 44 para la conexión por líneas de transmisión de alta tensión a la red eléctrica 48.

35 Al menos un sensor 60 mide datos que varían con el tiempo de las turbinas eólicas 10 en el parque eólico 42 para proporcionar información para variables relativos al funcionamiento de esas turbinas eólicas 10. El al menos un sensor 60 puede monitorizar varios parámetros medibles y puede incluir sensores de viento, sensores para el funcionamiento mecánico de las turbinas eólicas 10, sensores de tensión, sensores de corriente, sensores de paso, y/o cualquier otro sensor que detecta datos relevantes para el funcionamiento de las turbinas eólicas 10 (incluyendo el generador 20 y/o convertidor de potencia de turbina 35, por ejemplo) o datos del entorno de las turbinas eólicas 10. La información de estado de al menos un sensor 60 se comunica al controlador de central eléctrica 46 y se correlaciona en el controlador de central eléctrica 46 con el estado del parque eólico 42.

45 Al menos un otro sensor 61 mide datos que varían con el tiempo del sistema de almacenamiento de energía 44 para generar información que varían con el tiempo para variables relativos al funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía 50. El al menos un sensor 61 puede monitorizar varios parámetros medibles del dispositivo de almacenamiento de energía 50 y puede incluir sensores de tensión, sensores de corriente, y/o cualquier otro sensor que detecta datos relevantes para el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía 44 (incluyendo el dispositivo de almacenamiento de energía 50 y el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52, por ejemplo). La información de estado de al menos un sensor 61 se comunica al controlador de central eléctrica 46 y se correlaciona en el controlador de central eléctrica 46 con el estado del sistema de almacenamiento de energía 44.

55 Además de al menos un sensor 60, 61 para medir información del parque eólico 42 y/o sistema de almacenamiento de energía 44, la central eléctrica 40 puede incluir sensores 62, 63, 64 adicionales para medir tensiones de CA del parque eólico 42, el sistema de almacenamiento de energía 44, y el sistema de convertidor de red 45. Específicamente, al menos un sensor 62 mide datos para variables relativos a la potencia que varía con el tiempo real emitida del parque eólico 42 al punto de conexión común 38, al menos un sensor 63 mide datos para variables relativos a la potencia que varía con el tiempo real emitida del sistema de almacenamiento de energía 44 al punto de conexión común 38, y al menos un sensor 64 mide datos para variables relativos a la potencia que varía con el tiempo real emitida del sistema de convertidor de red 45 y por tanto la central eléctrica 40. La potencia que varía con el tiempo real emitida de la central eléctrica 40 durante periodos de producción de potencia incluye contribuciones de las potencias que varían con el tiempo del parque eólico y sistema de almacenamiento de energía. Las potencias que varían con el tiempo pueden incluir componentes reactivos y activos. Los sensores 62, 63, 64 pueden incluir

sensores de tensión para medir tensión como una variable, sensores de corriente para medir corriente como una variable, y/o cualquier otro sensor que detecta datos para variables relevantes a detección y medición de potencia. Los datos de los sensores 62, 63, 64 pueden comunicarse al controlador de central eléctrica 46 y actualizarse continuamente para el cálculo de las potencias que varían con el tiempo en diferentes instantes en el tiempo para implementar los esquemas de control en tiempo real de las realizaciones de la invención.

El controlador de central eléctrica 46 está configurado además para monitorizar la red eléctrica 48 para buscar desequilibrios, tales como la caída de la frecuencia de señales de CA en la red eléctrica fuera de un intervalo especificado. La central eléctrica 40 está configurada para mantener la red eléctrica 48 a una frecuencia deseada, o de servicio (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz). Cuando se introduce demanda o carga adicional a la red eléctrica 48, la frecuencia puede disminuir. Cuando se retira demanda o carga de la red eléctrica 48, la frecuencia puede aumentar. Desviación excesiva de la frecuencia de servicio, sin embargo, puede provocar un fallo de al menos una parte de la red eléctrica 48 o daño a dispositivos de conversión de electricidad y/o consumo de electricidad conectados a la red eléctrica 48. Como tal, el controlador de central eléctrica 46 está configurado para monitorizar la red eléctrica 48 a través de al menos un sensor 65 y para controlar los componentes de la central eléctrica 40 para regular la tensión de CA suministrada a la red eléctrica 48 cuando hay desequilibrios. Consistente con realizaciones de la invención, el controlador de central eléctrica 46 está configurado para regular de manera dinámica el funcionamiento de una o más de una turbina eólica 10a, 10b, sistema de almacenamiento de energía 44, o sistema de convertidor de red 45 en respuesta a un desequilibrio en la red eléctrica 48.

El controlador de central eléctrica 46 es un sistema de control de supervisión que puede implementarse usando al menos un procesador 66 seleccionado de microprocesadores, microcontroladores, microordenadores, procesadores de señal digital, unidades de procesamiento centrales, matriz de puertas programable en campo, dispositivos lógicos programables, máquina de estados, circuitos lógicos, circuitos analógicos, circuitos digitales, y/o cualquier otros dispositivos que manipulan señales (analógicas y/o digitales) basándose en instrucciones de funcionamiento que se almacenan en una memoria 68. La memoria 68 puede ser un único dispositivo de memoria o una pluralidad de dispositivos de memoria incluyendo, pero sin limitarse a, una memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria volátil, memoria no volátil, memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), memoria flash, memoria caché, y/o cualquier otro dispositivo que puede almacenar información digital. El controlador de central eléctrica 46 incluye un dispositivo de almacenamiento masivo 70 que puede incluir uno o más discos duros, disquetes u otras unidades de discos extraíbles, dispositivos de almacenamiento de acceso directo (DASD), lectores ópticos (por ejemplo, un lector de CD, un lector de DVD, etc.), y/o unidades de cinta, entre otros.

El procesador 66 del controlador de central eléctrica 46 funciona bajo el control de un sistema operativo, y ejecuta o de otra manera depende del código de programación informático incorporado en diversas aplicaciones de software informático, componentes, programas, objetos, módulos, estructuras de datos, etc. El código de programación informático que se encuentra en memoria 68 y almacenado en el dispositivo de almacenamiento masivo 70 también incluye un algoritmo de control 72 que, cuando se ejecuta en el procesador 66, controla y gestiona la potencia emitida a la red eléctrica 48 usando cálculos numéricos y lógica de funcionamiento para controlar la potencia emitida del sistema de potencia 40. El código de programación informático comprende normalmente una o más instrucciones que se encuentran en diversas veces en la memoria 68, y que, cuando el procesador 66 las lee y ejecuta, hace que el controlador de central eléctrica 46 realice las etapas necesarias para ejecutar etapas o elementos que incorporan las diversas realizaciones y aspectos de la invención.

Diversos códigos de programación descritos en el presente documento pueden identificarse basándose en la aplicación en la que se implementa en una realización específica de la invención. Sin embargo, debe apreciarse que cualquier nomenclatura de programación particular que sigue se usa meramente por conveniencia, y por tanto la invención no debe limitarse a su uso únicamente en cualquier aplicación específica identificada y/o implícita por tal nomenclatura. Además, dado el número de formas normalmente ilimitado en las que pueden organizarse programas informáticos en rutinas, procedimientos, métodos, módulos, objetos, y similares, así como las diversas formas en que funcionalidad de programa puede asignarse entre diversas capas de software que se encuentran dentro de un ordenador típico (por ejemplo, sistemas operativos, bibliotecas, API (interfaz para la programación de aplicaciones), aplicaciones, applets, etc.), debe apreciarse que la invención no se limita a la organización y asignación específica de la funcionalidad de programa descrita en el presente documento.

Por motivos de gestión de energía y controles regulatorios, el controlador de central eléctrica 46 puede configurarse con una interfaz de entrada/salida (I/O) 74 para recibir diversos tipos de datos de entrada desde fuentes externas a la central eléctrica 40 a través de una red aplicable 75 tal como, por ejemplo, una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), el Internet, una red inalámbrica, etc., empleando un protocolo de comunicación adecuado. En particular, el controlador de central eléctrica 46 puede recibir un valor de consigna global para la producción de potencia desde una fuente externa, tal como un SCADA, por la red 75 usando un protocolo de SCADA apropiado.

El controlador de central eléctrica 46 incluye una interfaz hombre-máquina (HMI) 76 que está conectada de manera operativa al procesador 66 en forma convencional. La HMI 76 puede incluir dispositivos de salida, tales como monitores alfanuméricos, una pantalla táctil, un altavoz, y otros indicadores visuales o audibles, así como dispositivos de entrada y controles, tales como un teclado alfanumérico, un dispositivo de puntero, teclados, pulsadores, perillas de control, etc., que pueden aceptar órdenes o entradas del operador.

El controlador de central eléctrica 46 incluye una interfaz de sensor 78 que permite que el controlador de central eléctrica 46 se comunice con los sensores 60, 61, 62, 63, 64, 65. La interfaz de sensor 78 puede ser o puede comprender uno o más convertidores de analógico a digital configurados para convertir señales analógicas de los sensores 60, 61, 62, 63, 64, 65 en señales digital para su uso por el procesador 66 del controlador de central eléctrica 46.

Las figuras 4 y 5 muestran un convertidor de potencia de turbina 34 y un convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56, respectivamente. En particular, el convertidor de potencia de turbina 34 incluye un convertidor de tensión de CA-CC 80 acoplado al generador 20 de una turbina eólica 10 para filtrar y convertir una tensión de CA así generada en una tensión de CC filtrada. Se regula entonces el nivel de la tensión de CC filtrada mediante un enlace de CC y un circuito recortador 82. El enlace de CC y circuito recortador 82 es un circuito recortador de ganancia variable regulable de manera dinámica que tiene aproximadamente un $\pm 30\%$ de capacidad de sobretensión/subtensión con respecto a una tensión normal, nominal a la que está configurado para mantener la tensión de CC filtrada. Por tanto, en respuesta a señales de control del controlador de central eléctrica 46, el enlace de CC y circuito recortador 82 pueden hacerse funcionar para aumentar la tensión de CC emitida de ese modo en aproximadamente el 30% (por ejemplo, aumentar la ganancia de entrada a salida) o para disminuir la tensión de CC emitida de ese modo en aproximadamente el 30% (por ejemplo, disminuir la ganancia de entrada a salida). En cualquier caso, la tensión de CC emitida por el enlace de CC y circuito recortador 82 a un convertidor de CC-CA 84, donde se convierte a una señal de CA y se emite al punto de conexión común 38.

El convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 es similar al convertidor de potencia de turbina 34 pero, dado que normalmente recibe señales de múltiples turbinas eólicas, incluye componentes que pueden tratar con tensiones más altas que aquellos componentes del convertidor de potencia de turbina 34. El convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 incluye un convertidor de CA-CC 86 acoplado al punto de conexión común 38. El convertidor de CA-CC 86 está configurado para filtrar y convertir una tensión de CA en una señal de CC de alta tensión (HVDC), en la que posteriormente se regula su nivel mediante un enlace de HVDC y circuito recortador 88. El enlace de HVDC y circuito recortador 88 es un circuito recortador de ganancia variable regulable de manera dinámica que tiene también aproximadamente un $\pm 30\%$ de capacidad de sobretensión/subtensión con respecto a una tensión normal, nominal a la que está configurado para mantener la señal de HVDC filtrada. En respuesta a señales de control del controlador de central eléctrica 46, el enlace de HVDC y circuito recortador 88 pueden hacerse funcionar para aumentar la HVDC emitida de ese modo en aproximadamente el 30% (por ejemplo, aumentar la ganancia de entrada a salida) o para disminuir la HVDC emitida de ese modo en aproximadamente el 30% (por ejemplo, disminuir la ganancia de entrada a salida). En cualquier caso, la HVDC emitida del enlace de HVDC y circuito recortador 88 se convierte en una señal de CA (es decir, una señal de CA de alta tensión) para la red eléctrica 48 mediante un convertidor de CC-CA 90.

Durante el funcionamiento, el algoritmo de control 72 ejecutando en el controlador de central eléctrica 46 permite que el controlador de central eléctrica 46 responda a desequilibrios en la red eléctrica 48 regulando la generación o producción de potencia de al menos uno del parque eólico 42, el sistema de almacenamiento de energía 44, y el sistema de convertidor de red 45. En una realización, el controlador de central eléctrica 46 regula la generación o producción de potencia de todas las turbinas eólicas 10a, 10b del parque eólico 42. En una realización alternativa, el controlador de central eléctrica 46 regula la generación o producción de potencia de turbinas eólicas 10a, 10b individuales del parque eólico 42.

El algoritmo de control 72 ejecutando en el controlador de central eléctrica 46 determina si existe un desequilibrio en la red eléctrica 48 determinando si la frecuencia de la red eléctrica 48 se ha desviado de una frecuencia deseada más de un intervalo predeterminado. Como ejemplo, generalmente se desea mantener la frecuencia de la red eléctrica 48 dentro de un intervalo crítico de aproximadamente ,5 Hz de su frecuencia de servicio (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz). Las frecuencias fuera del intervalo crítico generalmente provocan fallo de al menos una parte de la red eléctrica 48 o daño a dispositivos de conversión de electricidad y/o consumo de electricidad conectados a la red eléctrica 48. Como tal, el intervalo predeterminado en el que mantener la frecuencia de la red eléctrica 48 desde su frecuencia de servicio puede ser el mismo que o inferior al intervalo crítico. Alternativamente, el intervalo predeterminado puede ser más del intervalo crítico para actuar como una protección en caso de falla para el funcionamiento de la red eléctrica 48.

La figura 6 muestra un diagrama de flujo 100 que ilustra una secuencia de operaciones para que el controlador de central eléctrica 46 regule al menos una parte de la central eléctrica 40 en respuesta a la detección de un aumento de la frecuencia de la red eléctrica 48. En particular, el controlador de central eléctrica 46 determina si existe un aumento de la frecuencia de la red eléctrica 48 más allá de un umbral predeterminado, tal como cuando existe una retirada repentina de carga en la red eléctrica 48 o la adición de una turbina eólica 10 (bloque 102). Cuando el controlador de central eléctrica 46 no detecta un aumento de la frecuencia de la red eléctrica 48 más allá del umbral predeterminado (rama "No" del bloque de decisión 102), la secuencia de operaciones vuelve al bloque 102. Sin embargo, cuando el controlador de central eléctrica 46 detecta un aumento de la frecuencia de la red eléctrica 48 más allá del umbral predeterminado (rama "Sí" del bloque de decisión 102), el controlador de central eléctrica 46 reduce selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 (bloque 104), tal como disipando al menos una parte de la señal de HVDC en el enlace de HVDC y circuito recortador 88 regulando el nivel de la señal de HVDC a un nivel que es hasta aproximadamente el 30% inferior a la tensión

normal, nominal a la que mantener la señal de HVDC en el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 cuando la red eléctrica 48 está en su frecuencia de servicio.

- En algunas situaciones, la reducción de la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56, y por tanto la disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48, puede no ser lo suficientemente rápida para impedir un fallo de al menos una parte de la red eléctrica 48 o daño a dispositivos de conversión de electricidad y/o consumo de electricidad conectados a la red eléctrica 48. Por ejemplo, la reducción de la frecuencia de la red eléctrica 48 provocada por la reducción de la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 puede no ser lo suficientemente rápida para superar la frecuencia que aumenta en la red eléctrica 48. Por tanto, el controlador de central eléctrica 46 determina si la frecuencia de la red eléctrica 48 ha disminuido lo suficiente (bloque 106). Cuando la disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48 es insuficiente (rama "No" del bloque de decisión 106), el controlador de central eléctrica 46 reduce selectivamente la potencia emitida por uno o más convertidores de potencia de turbinas 34 de una o más turbinas eólicas 10 respectivas (bloque 108), tal como disipando al menos una parte de la tensión de CC en el enlace CC y circuito recortador 82 ajustando el nivel de la tensión de CC a un nivel que es hasta aproximadamente el 30% inferior a la tensión normal, nominal a la que mantener la tensión de CC en el convertidor de potencia de turbina 34 cuando la red eléctrica 48 está en su frecuencia de servicio. En una etapa opcional, el controlador de central eléctrica 46 puede cargar también el dispositivo de almacenamiento de energía 50 o reducir selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 (bloque 110). Después del bloque 108 y/o bloque 110, la secuencia de operaciones puede volver al bloque 102.
- Sin embargo, cuando el desequilibrio es una disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48, el controlador de central eléctrica está configurado para aumentar la potencia emitida por la central eléctrica 40. La figura 7 muestra un diagrama de flujo 120 que ilustra una secuencia de operaciones para que el controlador de central eléctrica 46 regule al menos una parte de la central eléctrica 40 en respuesta a una detección de una disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48. En particular, el controlador de central eléctrica 46 determina si existe una disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48 más allá de un umbral predeterminado, tal como cuando existe un aumento repentino de carga en la red eléctrica 48, una avería de una turbina eólica 10, o un fallo de una línea de transmisión de una turbina eólica 10 (bloque 122). Cuando el controlador de central eléctrica 46 no detecta una disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48 más allá del umbral predeterminado (rama "No" del bloque de decisión 122), la secuencia de operaciones vuelve al bloque 122.
- Sin embargo, cuando el controlador de central eléctrica 46 detecta un aumento de la frecuencia de la red eléctrica 48 más allá del umbral predeterminado (rama "Sí" del bloque de decisión 122), el controlador de central eléctrica 46 aumenta selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 (bloque 124), aumenta selectivamente la potencia emitida por al menos un convertidor de potencia de turbina 34 (bloque 126), y cambia selectivamente el paso de las palas 24 de al menos una turbina eólica 10 para aumentar la velocidad de la misma (bloque 128). En el bloque 124, el controlador de central eléctrica 46 puede aumentar selectivamente la potencia emitida del convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 enviando una orden apropiada al controlador de convertidor de red 58 para que el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 reduzca la regulación de nivel de la señal de HVDC con el enlace de HVDC y circuito recortador 88 hasta un nivel que es hasta aproximadamente el 30% mayor que la tensión normal, nominal a la que mantener la señal de HVDC en el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 cuando la red eléctrica 48 está en su frecuencia de servicio. En el bloque 126, el controlador de central eléctrica 46 puede aumentar selectivamente la potencia emitida del convertidor de potencia de turbina 34 enviando una orden apropiada al controlador de turbina eólica 36 para que el convertidor de potencia de turbina 34 reduzca la regulación de nivel de la tensión de CC con el enlace de CC y circuito recortador 82 hasta un nivel que es hasta aproximadamente el 30% mayor que la tensión normal, nominal a la que mantener la tensión de CC en el convertidor de potencia de turbina 34 cuando la red eléctrica 48 está en su frecuencia de servicio. En el bloque 128, el controlador de central eléctrica 46 puede regular selectivamente el paso de las palas 24 enviando una orden apropiada para regular el paso de las palas 24 al controlador de turbina eólica 36 respectivo para la turbina eólica 10 apropiada asociada con esas palas 24. Con respecto al bloque 128, el controlador de central eléctrica 46 puede enviar una orden a uno o más de los controladores de turbina eólica 36 de tal manera que los controladores de turbina eólica 36 pueden controlar posteriormente controladores de paso 27 respectivos para regular el paso de las palas 24 de una o más turbinas eólicas 10 del parque eólico 42. En una etapa opcional, el controlador de central eléctrica 46 puede aumentar adicionalmente la potencia emitida por la central eléctrica 40 descargando el dispositivo de almacenamiento de energía 50 o aumentando selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 (bloque 130).
- Con respecto a la figura 6, el controlador de central eléctrica 46 reduce selectivamente la potencia emitida por uno o más de los convertidores de potencia 34, 52, 56, así como carga el dispositivo de almacenamiento de energía 50, basándose en mediciones dinámicas de la potencia emitida a la red eléctrica 48 y/o mediciones dinámicas de la frecuencia de la red eléctrica 48. De manera similar, con respecto a la figura 7, el controlador de central eléctrica 46 aumenta selectivamente la potencia emitida por uno o más de los convertidores de potencia 34, 52, 56, así como descarga el dispositivo de almacenamiento de energía 50, basándose en mediciones dinámicas de la potencia emitida a la red eléctrica 48 y/o mediciones dinámicas de la frecuencia de la red eléctrica 48. De manera correspondiente, realizaciones de la invención se configuran para abordar el aumento o la disminución de la frecuencia de la red eléctrica 48 para llevar esa frecuencia de vuelta aproximadamente a la frecuencia de servicio,

pero no se pretende que lleven la frecuencia sustancialmente por debajo o por encima de la frecuencia de servicio. Por tanto, el controlador de central eléctrica 46 reduce o aumenta “selectivamente” la potencia emitida a la red eléctrica 48 hasta el punto que se necesita esa reducción o aumento de la potencia emitida. Por ejemplo, y con respecto a la figura 6, cuando se logra una reducción de potencia suficiente reduciendo la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 en el bloque 104, el controlador de central eléctrica 46 puede no reducir la potencia emitida por el convertidor de potencia de turbina 34 o el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52, o cargar el dispositivo de almacenamiento de energía 50 en los bloques 108 y 110. Además, por ejemplo, y con respecto a la figura 7, cuando se logra suficiente aumento de potencia aumentando la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 y aumentando la potencia emitida por el convertidor de potencia de turbina 34 en los bloques 124 y 126, el controlador de central eléctrica 46 puede no descargar el dispositivo de almacenamiento de energía 50 o aumentar la potencia emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 en el bloque 130.

El controlador de central eléctrica 46 está configurado además para regular la potencia emitida por los convertidores de potencia 34, 52, 56 en aproximadamente $\pm 30\%$. Por tanto, el controlador de central eléctrica 46 reduce o aumenta “selectivamente” la potencia emitida por los convertidores de potencia 34, 52, 56 a la red eléctrica 48 hasta el punto que se necesita esa reducción o aumento de la potencia emitida. Por ejemplo, y con respecto a la figura 6, si el umbral predeterminado para un aumento de la frecuencia de la red eléctrica 48 es bajo (por ejemplo, de aproximadamente 0,01 Hz), el controlador de central eléctrica 46 reduce la potencia emitida por uno o más de los convertidores de potencia 34, 52, 56 una cantidad apropiada para abordar el aumento de frecuencia. Además, por ejemplo, y con respecto a la figura 7, si el umbral predeterminado para una disminución de la frecuencia de la red eléctrica es bajo (por ejemplo, de nuevo, de aproximadamente 0,01 Hz), el controlador de central eléctrica 46 aumenta la potencia emitida por uno o más de los convertidores de potencia 34, 52, 56 una cantidad apropiada para abordar la reducción de frecuencia.

No obstante, puede resultar ventajoso usar regulaciones de uno o más de los convertidores de potencia 34, 52, 56 y el paso de las palas 24 de una o más turbinas eólicas 10 del parque eólico 42 de manera conjunta. Regular la potencia emitida del convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 puede ser lo más rápido, ya que el controlador de central eléctrica 46 está normalmente ubicado más cerca de, o incluso ubicado de manera conjunta con, el sistema de convertidor de red 45. Sin embargo, un retraso en la comunicación t_0 está asociado con frecuencia a regulaciones mediante los convertidores de potencia 34 y/o 52. Por ejemplo, el retraso en la comunicación t_0 corresponde al tiempo requerido para que el controlador de central eléctrica 46 determine si regular la potencia emitida por convertidores de potencia 34 y/o 52, transmitir tal orden cuando se determina regular esos convertidores de potencia 34 y/o 52, así como hacer que la orden se reciba y se procese por controladores 36 y/o 54 respectivos. Sin embargo, el mayor retraso está con frecuencia asociado con una combinación del retraso en la comunicación t_0 y un retraso mecánico para el controlador de paso 27 para controlar uno o más mecanismos de paso 25 para regular el paso de las palas 24. Este retraso mecánico se indica t_{WTG} .

La figura 8 muestra un gráfico de combinación 200 que ilustra un ejemplo de los tiempos de respuesta de regular tres recursos de la central eléctrica 40 y el efecto de esos tiempos de respuesta sobre el cambio de la frecuencia de una red eléctrica 48 en respuesta a lo mismo (ilustrado como “ Δf ”). El primer recurso (ilustrado como “Recurso 1”) corresponde a un convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56. Tal como se comentó anteriormente, con frecuencia resulta más rápido regular la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56, y por tanto la sección 202 del gráfico de combinación 200 ilustra el efecto de que regular el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 puede ser lo más rápido y también tener un impacto significativo sobre la frecuencia de la red eléctrica 48. El segundo recurso (ilustrado como “Recurso 2”) corresponde a los convertidores de potencia de turbina 34 de las turbinas eólicas 10 del parque eólico 42. Tal como se comentó anteriormente, hay un retraso en la comunicación t_0 asociado con regular la potencia emitida por convertidores de potencia de turbina 34. Además, el impacto total de la regulación de convertidores de potencia de turbina 34 de turbinas eólicas 10 del parque eólico 42 sobre la frecuencia de la red eléctrica 48 puede ser menor que el impacto de regular el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56. Por tanto, la sección 204 del gráfico de combinación 200 ilustra el efecto que puede tener regular los convertidores de potencia de turbina 34 de turbinas eólicas 10 del parque eólico 42 sobre la frecuencia de la red eléctrica 48. El tercer recurso (ilustrado como “Recurso 3”) corresponde al paso de las palas 24 de turbinas eólicas 10 del parque eólico 42. Tal como se comentó anteriormente, hay un retraso en la comunicación t_0 y un retraso mecánico t_{WTG} (por ejemplo, $t_0 + t_{WTG}$) asociados con hacer que el controlador de paso 27 cambie el paso de las palas 24 de turbina eólica 10. El impacto total de cambiar el paso de las palas 24 de turbinas eólicas 10 del parque eólico 42 también es el que más tarda pero puede tener el mayor impacto sobre la frecuencia de la red eléctrica 48. Por tanto, la sección 206 del gráfico de combinación 200 ilustra el efecto que puede tener regular el paso de las palas 24 de turbinas eólicas 10 del parque eólico 42 sobre la frecuencia de la red eléctrica 48.

La figura 9 muestra un gráfico 210 que ilustra un ejemplo de la combinación de las respuestas de regular los tres recursos de la central eléctrica 40 en combinación y el efecto de esas regulaciones a lo largo del tiempo sobre el cambio de la frecuencia (Δf) de una red eléctrica 48 en respuesta a lo mismo. Tal como se ilustra en la figura 9, la regulación de los tres recursos da como resultado un cambio definitivo en la frecuencia de la red eléctrica 48 ilustrado por la línea discontinua horizontal en “ Δf ”. Este cambio particular en la frecuencia se logra mediante la regulación selectiva de los tres recursos por parte del controlador de central eléctrica 46. Como tal, el controlador de

central eléctrica 46 puede regular selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 y los convertidores de potencia de turbina 34 de turbinas eólicas 10 del parque eólico 42 a su máximo (por ejemplo, $\pm 30\%$), pero hace selectivamente que los controladores de turbina eólica 36 y los controladores de paso de pala 27 regulen el paso de las palas 24 de esas turbinas eólicas 10 para lograr el nivel deseado de cambio de la frecuencia de la red eléctrica 48.

Tal como apreciará un experto en la técnica, las realizaciones de la invención también pueden realizarse en un producto de programa informático realizado en al menos un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene códigos de programación legibles por ordenador no transitorios realizados en el mismo. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un sistema, aparato o dispositivo electrónico, magnético, óptico, electromagnético, de infrarrojos o semiconductor, o cualquier combinación adecuada de los mismos, que puede contener o almacenar un programa para su uso por, o en conexión con, un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones. Un medio de almacenamiento legible por ordenador a modo de ejemplo incluye, pero no se limita a, un disco duro, un disquete, una memoria de acceso aleatorio, una memoria de sólo lectura, una memoria de sólo lectura programable y que puede borrarse, una memoria flash, una memoria de sólo lectura de disco compacto portátil, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento magnético, o cualquier combinación adecuada de los mismos. Puede escribirse código de programación informático que contiene instrucciones para indicar a un procesador que funcione de una manera particular para llevar a cabo operaciones para las realizaciones de la presente invención en uno o más lenguajes de programación orientados a objetos y procedurales. El código de programación informático puede suministrarse desde el medio de almacenamiento legible por ordenador al procesador de cualquier tipo de ordenador, tal como el procesador 66 del controlador de central eléctrica 46, para producir una máquina con un procesador que ejecuta las instrucciones para implementar las funciones/acciones de un procedimiento implementado por ordenador para la recogida de datos de sensor especificada en el presente documento.

La terminología usada en el presente documento es únicamente con el fin de describir realizaciones particulares y no se pretende que limite la invención. Tal como se usan en el presente documento, se pretende que las formas en singular “un”, “una” y “el/la” incluyan también las formas en plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos “comprende” y/o “que comprende”, cuando se usan en esta memoria descriptiva, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, y/o componentes mencionados, pero no excluyen la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos. Además, en la medida en que los términos “incluye”, “que tiene”, “tiene”, “con”, “compuesto por”, o variantes de los mismos se usan o bien en la descripción detallada o bien en las reivindicaciones, se pretende que tales términos sean inclusivos de una manera similar al término “que comprende.”

Aunque se ha ilustrado la invención mediante una descripción de diversas realizaciones y aunque esas realizaciones se han descrito con detalles considerables, el solicitante no pretende restringir ni limitar de ninguna manera el alcance de las reivindicaciones adjuntas a tales detalles. A los expertos en la técnica se les ocurrirán fácilmente ventajas y modificaciones adicionales. Por ejemplo, cualquiera de los bloques de los diagramas de flujo anteriores pueden eliminarse, aumentarse, hacerse simultáneos con otros, combinarse o alterarse de otro modo según los principios de la presente invención. Por ejemplo, y con respecto a la figura 6, el controlador de central eléctrica 46 puede estar configurado además para cambiar el paso de las palas 24 de una o más turbinas eólicas 10 de una manera similar a lo que se muestra y se describe con respecto al bloque 128 de la figura 7. Además, con respecto a la figura 6, el controlador de central eléctrica 46 puede estar configurado además para determinar si se necesita disminuir selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 (cuando esta opción no es la primera opción para disminuir la frecuencia de la red eléctrica 48), cargar el dispositivo de almacenamiento de energía 50 y/o reducir selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 mediante la determinación de si ha habido una disminución suficiente de la frecuencia de la red eléctrica 48 de una manera similar a lo que se muestra y se describe con respecto al bloque 106. Además, y con respecto a la figura 7, el controlador de central eléctrica 46 puede estar configurado además para determinar si aumentar selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de red (enlace de HVDC) 56 (cuando esta opción no es la primera opción para aumentar la frecuencia de la red eléctrica 48), aumentar selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de turbina 34, regular selectivamente el paso de las palas 24 de una o más turbinas eólicas 10, descargar energía del dispositivo de almacenamiento de energía 50 y/o aumentar selectivamente la potencia emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía 52 mediante la determinación de si ha habido un aumento suficiente de la frecuencia de la red eléctrica 48.

REIVINDICACIONES

1. Central eléctrica para controlar la potencia emitida a una red eléctrica, comprendiendo la central eléctrica:

5 un parque eólico que incluye una pluralidad de turbinas eólicas configuradas para generar y emitir una señal de potencia de parque eólico a un punto de conexión común, incluyendo cada turbina eólica un mecanismo de paso para cambiar el paso de las palas de la turbina eólica respectiva y un convertidor de potencia de turbina para emitir una parte de la señal de potencia de parque eólico generada por la turbina eólica respectiva;

un convertidor de potencia de red conectado al punto de conexión común y configurado para recibir la señal de potencia de parque eólico y emitir una señal de potencia para la red eléctrica;

10 un sensor para medir una frecuencia de la red eléctrica; y

un controlador de supervisión acoplado en comunicación con cada una de las turbinas eólicas del parque eólico, el convertidor de potencia de red, y el sensor, estando el controlador de supervisión configurado para implementar un algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia en respuesta a la caída de la frecuencia medida por el sensor por debajo de una primera frecuencia objetivo cambiando el paso de las palas de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, aumentando el nivel de la parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por el convertidor de potencia de turbina de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, y aumentando el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red.
2. Central eléctrica según la reivindicación 1, que comprende además:

20 un sistema de almacenamiento de energía con un dispositivo de almacenamiento de energía, estando el sistema de almacenamiento de energía conectado al punto de conexión común que va a cargarse mediante la señal de potencia de parque eólico,

en la que el algoritmo de control está configurado además para cargar el dispositivo de almacenamiento de energía en respuesta a la caída de la frecuencia medida por el sensor por debajo de la primera frecuencia objetivo.
3. Central eléctrica según la reivindicación 1, que comprende además:

30 un sistema de almacenamiento de energía con un dispositivo de almacenamiento de energía y un convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía, estando el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía configurado para emitir una señal de potencia de sistema de almacenamiento de energía al punto de conexión común,

en la que el algoritmo de control está configurado además para aumentar el nivel de la señal de potencia de sistema de almacenamiento de energía emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía en respuesta a la caída de la frecuencia medida por el sensor por debajo de la primera frecuencia objetivo.
4. Central eléctrica según la reivindicación 1, en la que el algoritmo de control está configurado además para regular de manera dinámica la señal de potencia en respuesta al aumento de la frecuencia medida por el sensor por encima de una segunda frecuencia objetivo disminuyendo el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red.
5. Central eléctrica según la reivindicación 4, en la que el algoritmo de control está configurado además para regular de manera dinámica la señal de potencia en respuesta al aumento de la frecuencia medida por el sensor por encima de la segunda frecuencia objetivo cambiando el paso de las palas de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico y disminuyendo el nivel de la parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por el convertidor de potencia de turbina de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico.
6. Central eléctrica según la reivindicación 1, en la que el algoritmo de control está configurado además para aumentar el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red antes de cambiar el paso de las palas de la al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico o aumentar el nivel de la parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por el convertidor de potencia de turbina de la al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico.
7. Central eléctrica según la reivindicación 1, en la que el algoritmo de control está configurado además para regular de manera dinámica la señal de potencia para llevar la frecuencia de la red eléctrica a una frecuencia de servicio asociada a la misma.
8. Método implementado por ordenador para controlar la potencia emitida por una central eléctrica a una red

eléctrica, incluyendo la central eléctrica un convertidor de potencia de red que recibe una señal de potencia de parque eólico desde un parque eólico y emite una señal de potencia para la red eléctrica, comprendiendo el método:

- 5 en respuesta a la caída de una frecuencia medida de la red eléctrica por debajo de una primera frecuencia objetivo, usar un algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia cambiando el paso de las palas de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, aumentando el nivel de una parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por un convertidor de potencia de turbina de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico, y aumentando el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red.
- 10 9. Método implementado por ordenador según la reivindicación 8, en el que la central eléctrica incluye un sistema de almacenamiento de energía con un dispositivo de almacenamiento de energía configurado para cargarse mediante la señal de potencia de parque eólico, y usar el algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia comprende:
- 15 cargar el dispositivo de almacenamiento de energía en respuesta a la caída de la frecuencia medida por debajo de la primera frecuencia objetivo.
10. Método implementado por ordenador según la reivindicación 8, en el que la central eléctrica incluye un sistema de almacenamiento de energía con un dispositivo de almacenamiento de energía y un convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía configurado para emitir una señal de potencia de sistema de almacenamiento de energía al convertidor de potencia de red, y en el que usar el algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia comprende:
- 20 aumentar el nivel de la señal de potencia de sistema de almacenamiento de energía emitida por el convertidor de potencia de dispositivo de almacenamiento de energía en respuesta a la caída de la frecuencia medida por debajo de la primera frecuencia objetivo.
11. Método implementado por ordenador según la reivindicación 8 que comprende además:
- 25 en respuesta al aumento de la frecuencia medida por encima de una segunda frecuencia objetivo, usar el algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia disminuyendo el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red.
12. Método implementado por ordenador según la reivindicación 11, que comprende además:
- 30 cambiar el paso de las palas de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico; y disminuir el nivel de la parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por el convertidor de potencia de turbina de al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico.
13. Método implementado por ordenador según la reivindicación 8, en el que el algoritmo de control está configurado además para aumentar el nivel de la señal de potencia emitida por el convertidor de potencia de red antes de cambiar el paso de las palas de la al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico o aumentar el nivel de la parte de la señal de potencia de parque eólico emitida por el convertidor de potencia de turbina de la al menos una turbina eólica respectiva del parque eólico.
- 35 14. Método implementado por ordenador según la reivindicación 8, en el que usar el algoritmo de control para regular de manera dinámica la señal de potencia comprende:
- 40 regular la señal de potencia para llevar la frecuencia de la red eléctrica a una frecuencia de servicio asociada a la misma.
15. Producto de programa informático que comprende:
- un medio de almacenamiento legible por ordenador; e
- instrucciones de programa para realizar el método según la reivindicación 8,
- 45 en el que las instrucciones de programa se almacenan en el medio de almacenamiento legible por ordenador.

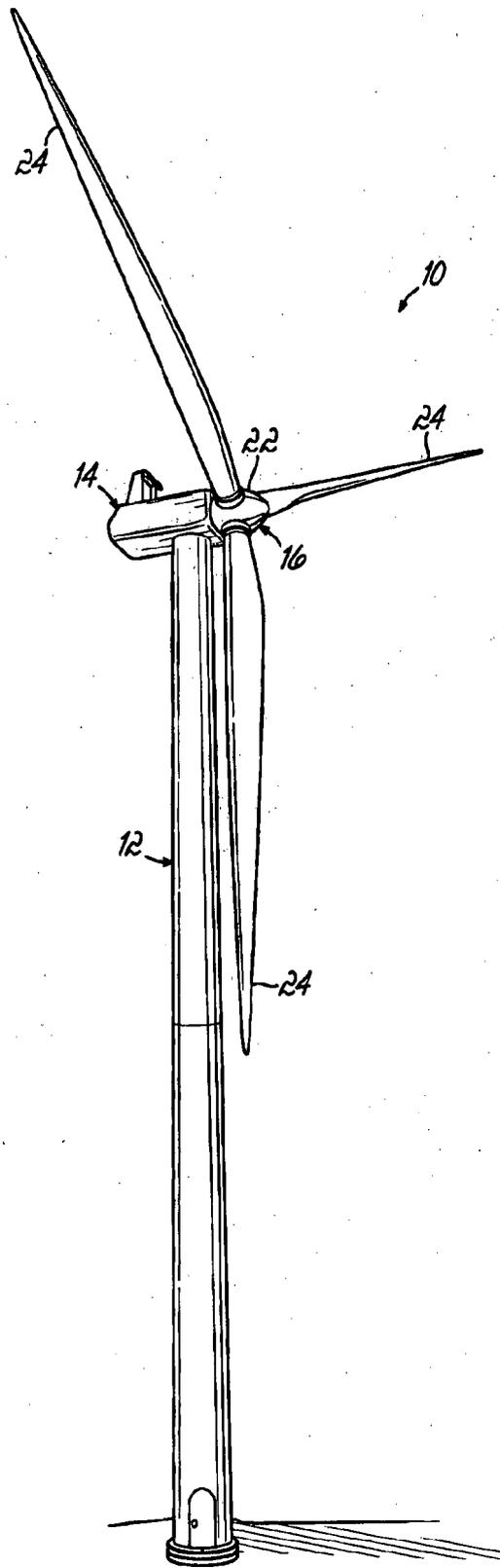


FIG. 1

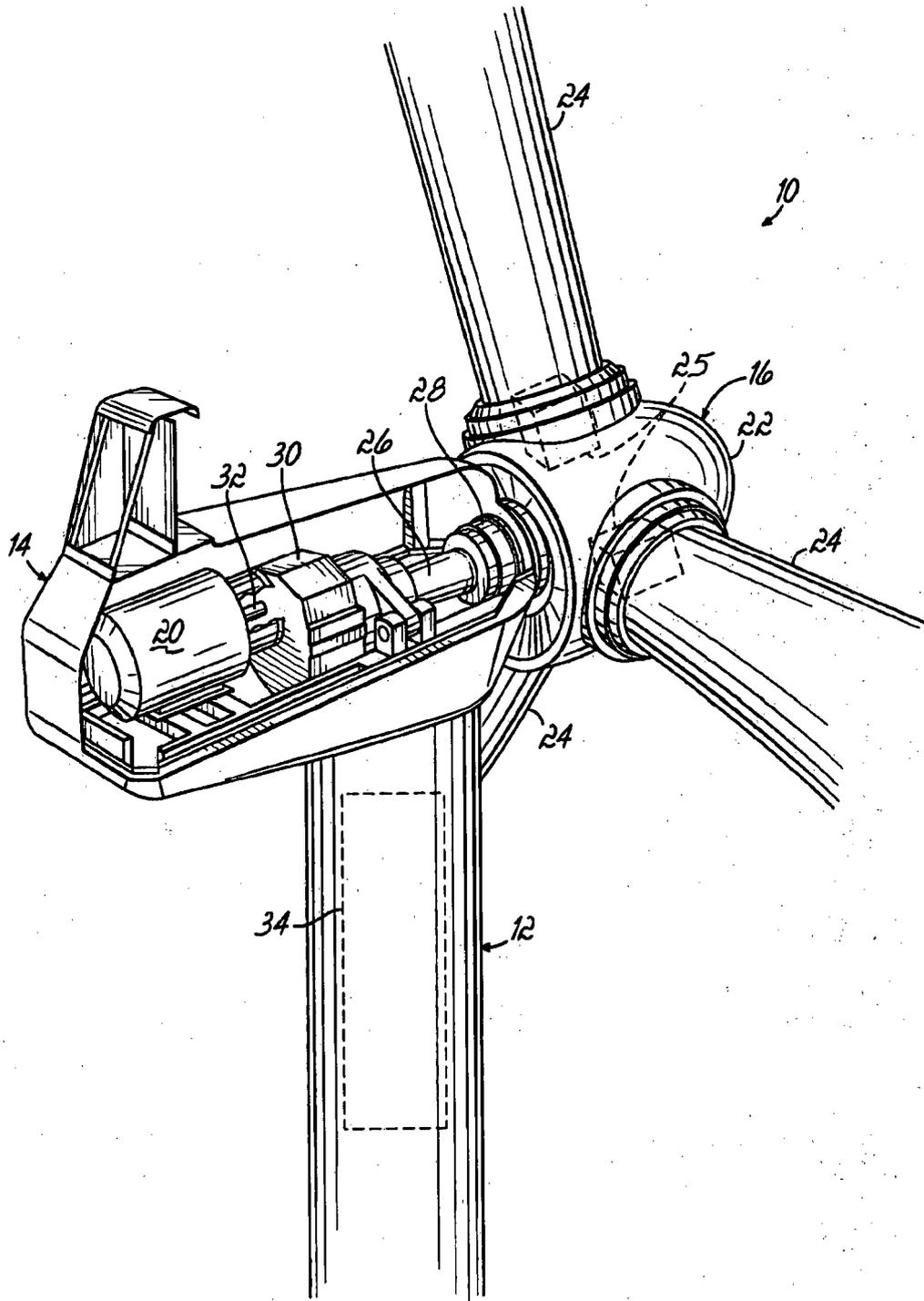


FIG. 2

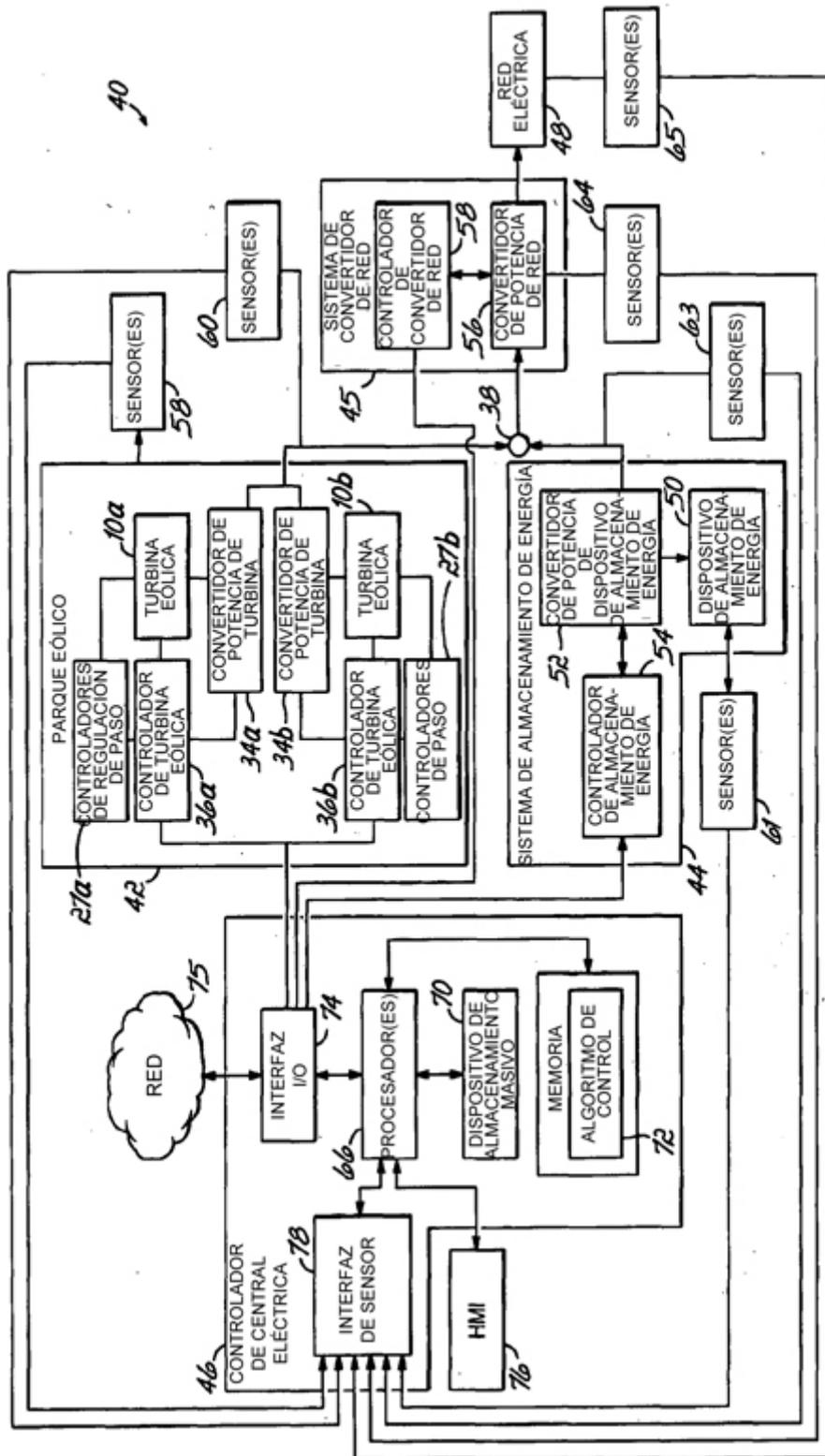


FIG. 3

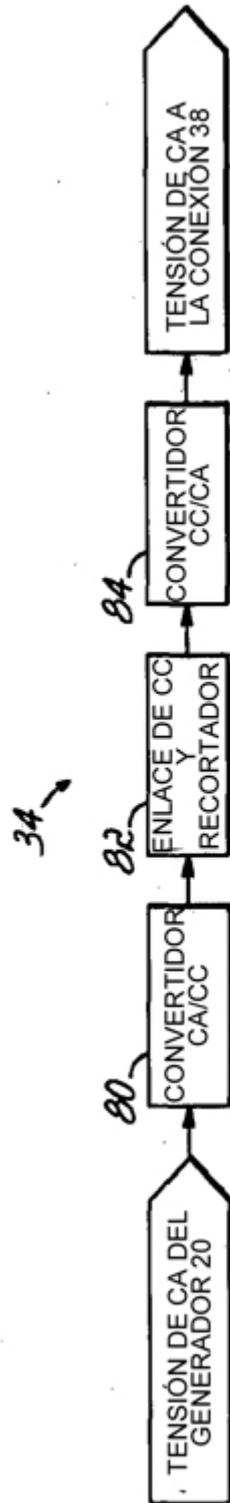


FIG. 4

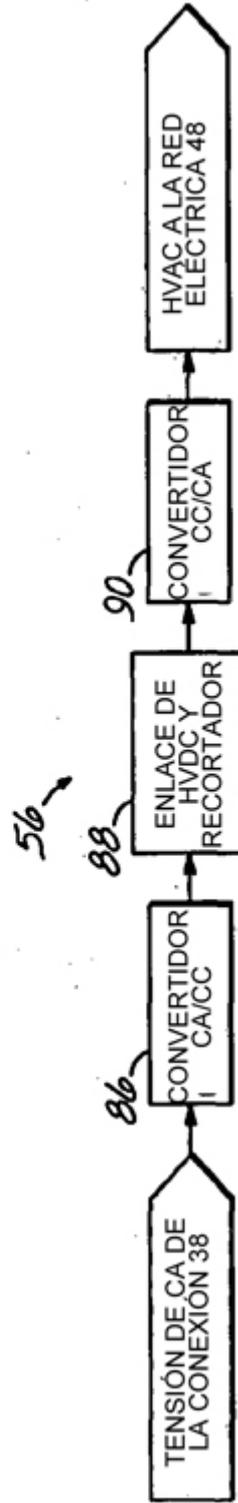


FIG. 5

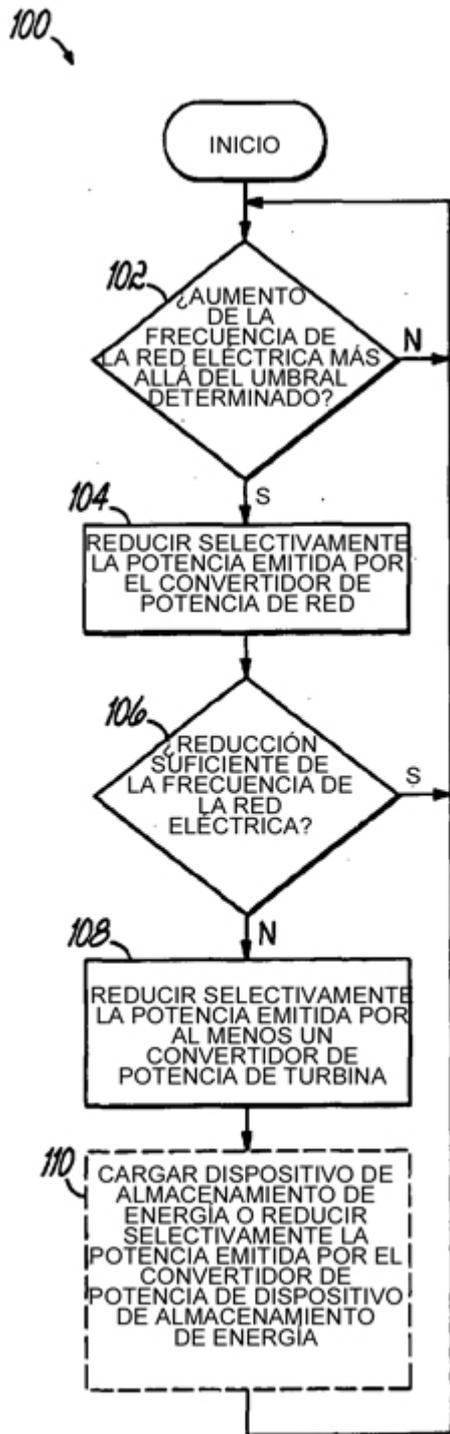


FIG. 6

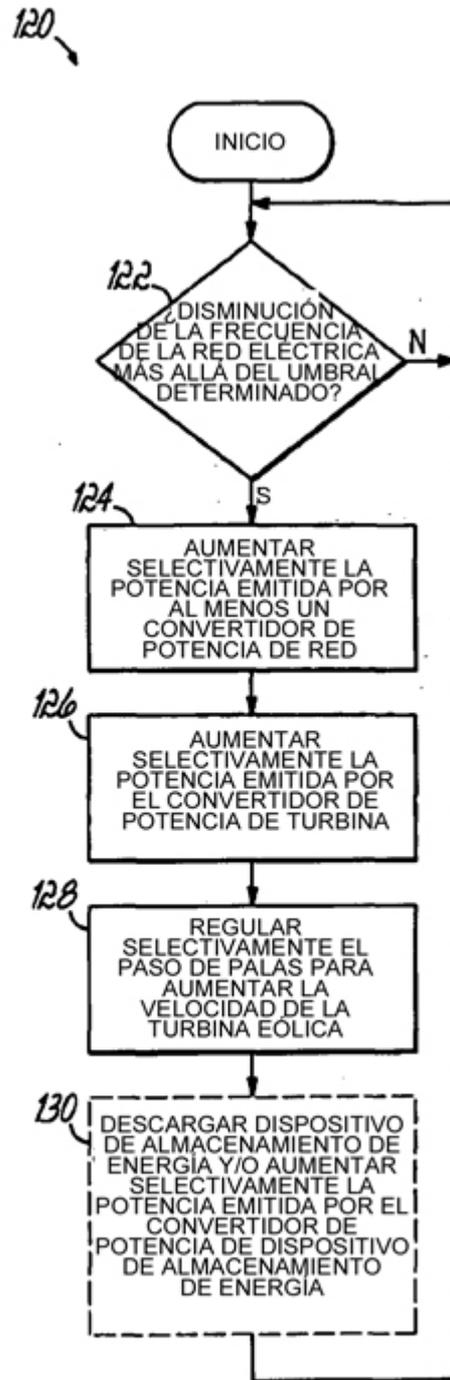


FIG. 7

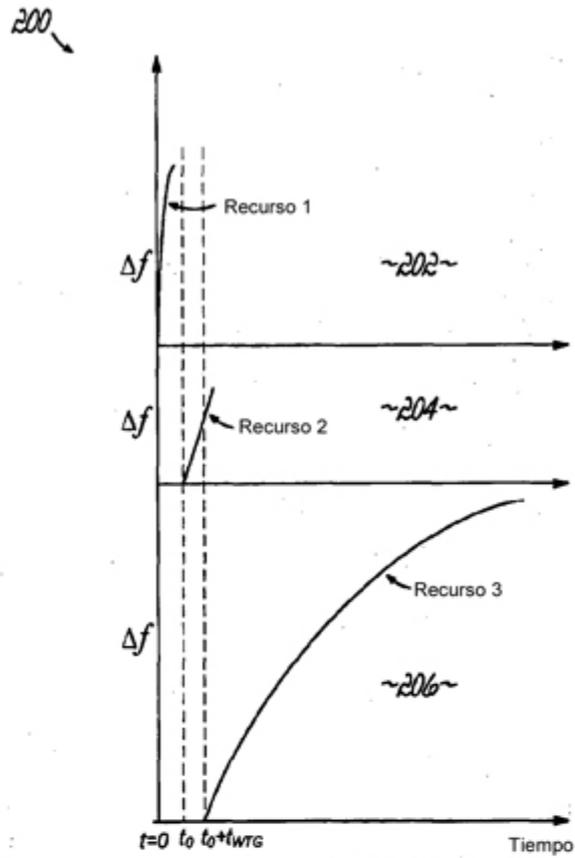


FIG. 8

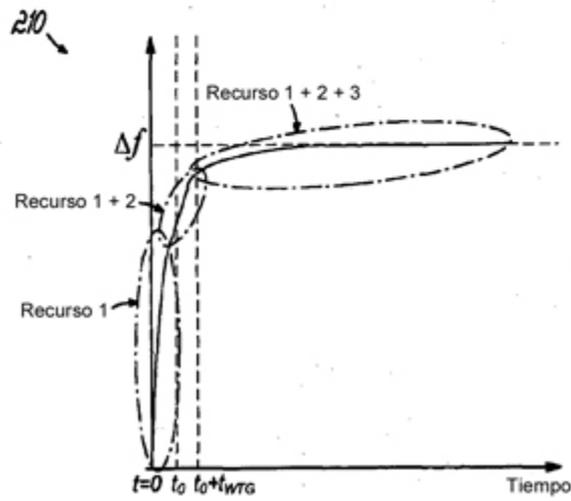


FIG. 9