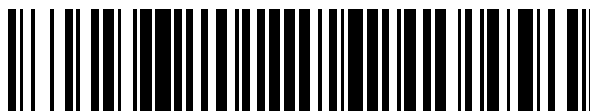


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 263**

51 Int. Cl.:

F03D 9/02 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2011** **E 11758109 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015** **EP 2612026**

54 Título: **Optimización del uso de dispositivos de almacenamiento de energía en aplicaciones de energía eólica**

30 Prioridad:

31.08.2010 US 872514

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

07.12.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

VIASSOLO, DANIEL y

HESELBAEK, BO

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 553 263 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

Optimización del uso de dispositivos de almacenamiento de energía en aplicaciones de energía eólica

Antecedentes

Esta solicitud se refiere de manera general a generación de energía eléctrica y, más específicamente, a la optimización del uso de dispositivos de almacenamiento de energía en aplicaciones de energía eólica.

Un sistema de energía eólica o parque eólico de suministro a red de distribución incluye un grupo de turbinas eólicas que funcionan colectivamente como una central eléctrica para producir energía eléctrica sin el consumo de combustibles fósiles. La salida de energía eólica desde un parque eólico es menos constante que la salida de energía procedente de centrales eléctricas de combustible fósil. Como resultado, la potencia procedente de turbinas eólicas que funcionan en condiciones nominales en un parque eólico pueden no cumplir los requisitos de salida para la central eléctrica. Por ejemplo, la potencia procedente de una central eléctrica puede no seguir la previsión de potencia debido a errores de previsión. Como otro ejemplo, la tasa de producción de energía eléctrica para una central eléctrica puede estar fuera de un intervalo deseado debido a rachas de viento. Un enfoque convencional para tratar éstas y otras situaciones similares es usar controles para gestionar el funcionamiento del parque eólico, tal como utilizar un control de paso de las palas de rotor para aumentar o disminuir la energía eléctrica producida por las turbinas eólicas individuales. En el documento WO 2010/038664 se da a conocer un método en el que una pluralidad de baterías de sodio-azufre está dividida en una pluralidad de grupos. Con el fin de compensar una fluctuación en la potencia de salida de un generador eléctrico, la potencia en la entrada o la salida que se ha suministrado a todas las baterías de sodio-azufre se distribuye a los respectivos grupos. En el documento US 2006/171086 un sistema de control monitoriza los tiempos de carga y descarga de una batería redox de vanadio.

Los sistemas de energía eólica de suministro a red de distribución no son fuentes de electricidad ajustables a la demanda que pueden encenderse o apagarse a petición de los operadores de la red eléctrica. Por ese motivo, un parque eólico puede incluir un dispositivo de almacenamiento de energía, tal como una o más baterías recargables, que está conectado a la red eléctrica y que puede ayudar a cumplir los requisitos en la producción de energía eléctrica por parte de la central eléctrica. Pueden usarse sistemas de almacenamiento de energía para variar la producción de energía eléctrica por parte de un parque eólico de horas sin picos a horas de pico de carga. Los sistemas de almacenamiento de energía pueden almacenar una producción limitada para su posterior liberación a la red eléctrica. La capacidad para almacenar energía durante momentos de alta producción de turbina eólica y liberar la energía almacenada durante momentos de baja producción por viento también permite que un parque eólico mejore la precisión de la previsión de producción de potencia. Las mejoras de precisión permiten que los parques eólicos cumplan compromisos de capacidad estrictos con empresas eléctricas y eviten costosas penalizaciones.

El patrón de ciclos de carga y descarga para generadores intermitentes, tales como turbinas eólicas, puede ser irregular dependiendo de la aplicación o combinación de aplicaciones a las que da servicio el parque eólico. No obstante, una batería que experimenta de promedio una única carga y descarga diaria durante veinte años en un parque eólico acumula aproximadamente 7.300 ciclos. Como resultado, las baterías destinadas a parques eólicos deben estar caracterizadas por largas vidas útiles en ciclos. La vida de la batería depende tanto de la profundidad de descarga como de la velocidad de descarga, así como de otros factores externos tales como temperatura, estrategia de carga, etc.

Por consiguiente, la gestión de sistemas de almacenamiento de energía debe mejorarse para optimizar el uso de sistemas de almacenamiento de energía, tales como baterías, en aplicaciones de energía eólica.

Breve sumario de la invención

En una realización de la invención, un sistema de producción de energía eléctrica incluye un primer parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, un dispositivo de almacenamiento de energía configurado para dar servicio a una primera aplicación de almacenamiento de energía en el primer parque eólico, y un controlador de supervisión configurado para determinar si un atributo del dispositivo de almacenamiento de energía es menor que o igual a un umbral para la primera aplicación de almacenamiento de energía y para programar el dispositivo de almacenamiento de energía para una segunda aplicación de almacenamiento de energía en el primer parque eólico o en un segundo parque eólico diferente del primer parque eólico, en el que el dispositivo de almacenamiento de energía es una batería, y el atributo es la capacidad de batería.

En otra realización de la invención, se proporciona un método implementado por ordenador para optimizar la programación de dispositivos de almacenamiento de energía en aplicaciones de energía eólica. El método incluye comparar un atributo de un dispositivo de almacenamiento de energía en un primer parque eólico con un umbral para una primera aplicación de almacenamiento de energía a la que da servicio el dispositivo de almacenamiento de energía en el primer parque eólico, en el que el primer dispositivo de almacenamiento de energía es una batería, y el atributo es la capacidad de batería. En respuesta a que el atributo es menor que o igual al umbral, el dispositivo de almacenamiento de energía se programa para una segunda aplicación de almacenamiento de energía en el primer parque eólico o en un segundo parque eólico diferente del primer parque eólico.

Las reivindicaciones exponen realizaciones particulares de la invención.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

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

La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica típica de las usadas en un parque eólico.

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 recortada para exponer estructuras alojadas dentro de la góndola.

10 La figura 3 es una vista esquemática de parques eólicos con baterías que complementan el funcionamiento de las turbinas eólicas en los parques eólicos.

La figura 4 es una vista gráfica que muestra la degradación de la capacidad de batería a lo largo del tiempo para las baterías en los parques eólicos de la figura 3 y la reasignación de las baterías para optimizar la programación de las baterías a través de múltiples parques eólicos según una realización de la invención.

15 La figura 5 es una vista esquemática similar a la figura 3 en la que una de las baterías se ha movido a un parque eólico diferente basándose en la degradación de capacidad en la figura 4 y se ha sustituido con una batería diferente basándose en la optimización según una realización de la invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo de un método para implementar una programación de batería óptima a lo largo de múltiples parques eólicos según una realización de la invención.

20 La figura 7 es una vista esquemática de un parque eólico que incluye una batería que da servicio a una aplicación.

La figura 8 es una vista esquemática del parque eólico de la figura 7 en la que una batería se ha movido a una aplicación diferente dentro del parque eólico basándose en la optimización según una realización de la invención.

Descripción detallada

25 Generalmente, las realizaciones de la invención van dirigidas a optimizar el uso de dispositivos de almacenamiento de energía en aplicaciones de energía eólica a través de la programación de dispositivos de energía apropiada entre diferentes aplicaciones en, o bien el mismo, o bien diferentes parques eólicos. En realizaciones representativas, los dispositivos de almacenamiento de energía gestionados son baterías.

30 Con referencia a las figuras 1 y 2, la siguiente descripción de turbina eólica 10 se aplica igualmente a todas las turbinas eólicas en esta memoria descriptiva. La turbina eólica 10 incluye una torre 12, una góndola 14 dispuesta en la cima 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 diversos componentes necesarios para convertir energía eólica en energía eléctrica y también diversos componentes necesarios para hacer funcionar y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 10. La torre 12 da soporte a la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16, y otros componentes de turbina eólica alojados dentro de la góndola 14. La torre 12 de la turbina eólica 10 sirve para elevar la góndola 14 y el rotor 16 hasta una altura por encima del nivel del terreno o el nivel del mal, según sea el caso, a la que se encuentran normalmente las corrientes de aire que tienen menor turbulencia y mayor velocidad.

35 El rotor 16 incluye un buje central 22 y una pluralidad de palas 24 unidas al buje central 22 en ubicaciones distribuidas alrededor de la circunferencia del buje central 22. En la realización representativa, el rotor 16 incluye tres palas 24. Las palas 24, que sobresalen radialmente hacia fuera del buje central 22, están configuradas para interaccionar con las corrientes de aire que pasan para producir un empuje que hace que el buje central 22 gire alrededor de su eje longitudinal. El diseño, la construcción y el funcionamiento de las palas 24 resultan familiares para un experto habitual en la técnica. Por ejemplo, el control de ángulo de paso de las palas 24 puede implementarse mediante un mecanismo de control de paso (no mostrado).

40 El rotor 16 se acopla mediante un árbol de accionamiento 32 y una caja de engranajes 34 con el conjunto de rotor del generador 20. La caja de engranajes 34 se basa en relaciones de transmisión de engranajes en un conjunto de transmisión para proporcionar conversiones de velocidad y par motor de la rotación del rotor 16 al conjunto de rotor del generador 20. Alternativamente, el árbol de accionamiento 32 puede conectar directamente el buje central 22 del rotor 16 con el conjunto de rotor del generador 20 de modo que la rotación del buje central 22 acciona directamente el conjunto de rotor para que gire en relación con un conjunto de estator del generador 20. Un acoplamiento mecánico 36 proporciona una conexión elástica entre el árbol de accionamiento 32 y la caja de engranajes 34.

50 La turbina eólica 10, que se representa como una turbina eólica de eje horizontal, tiene la capacidad para convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. Específicamente, el movimiento del conjunto de rotor del generador 20 en relación con el conjunto de estator de generador 20 convierte de manera funcional la energía mecánica

suministrada desde el rotor 16 en energía eléctrica de modo que la turbina eólica 10 recoge la energía cinética del viento para generación de energía eléctrica. El viento que supera un nivel mínimo activará el rotor 16 y provocará que el rotor 16 rote en una dirección sustancialmente perpendicular al viento. En circunstancias normales, la energía eléctrica se suministra a la red eléctrica 40 tal como conoce un experto habitual en la técnica.

- 5 Con referencia a la figura 3 y según una realización de la invención, los parques eólicos 42, 44 incluyen cada uno una o más turbinas eólicas, tales como la turbina eólica 10 representativa. Las turbinas eólicas actúan colectivamente como central de generación interconectada en última instancia mediante líneas de transmisión con la red eléctrica 40, que puede ser una red eléctrica trifásica. Cuando el parque eólico tiene más de una turbina, cada parque eólico 42, 44 agrupa las turbinas eólicas entre sí en una ubicación común con el fin de aprovechar las economías de escala que disminuyen por coste unitario con el aumento de la salida. Un experto habitual en la técnica entiende que los parques eólicos 42, 44 pueden incluir un número arbitrario de turbinas eólicas de una capacidad dada según una salida de potencia objetivo.

- 15 La red eléctrica 40 consiste generalmente en una red de estaciones eléctricas, circuitos de transmisión y subestaciones acopladas mediante una red de líneas de transmisión. Las estaciones eléctricas generan energía eléctrica mediante medios nucleares, hidroeléctricos, de gas natural o por carbón, o con otro tipo de energía renovable como la solar y la geotérmica. Parques eólicos adicionales, análogos a los parques eólicos 42, 44 representados también pueden acoplarse con la red eléctrica 40. Las redes eléctricas y los parques eólicos normalmente generan y transmiten energía eléctrica usando corriente alterna (CA). Debido a que las baterías 50, 52 sólo pueden almacenar y liberar energía eléctrica en forma de corriente continua (CC), se necesitan convertidores de energía eléctrica 46, 48 para convertir entre energía eléctrica de CA que puede usar los parques eólicos 42, 44 y la red eléctrica 40, y energía eléctrica de CC que pueden usar las baterías 50, 52.

- 25 Los convertidores 46, 48 están conectados eléctricamente entre la red eléctrica 40 y respectivas baterías 50, 52. Los convertidores 46, 48 incluyen conmutadores activos, tales como dispositivos semiconductores de potencia, en una configuración adecuada para transformar energía eléctrica de CA suministrada por los parques eólicos 42, 44 en energía eléctrica de CC durante momentos en los que las baterías 50, 52 están almacenando el exceso de energía eléctrica suministrada desde los parques eólicos 42, 44 y para transformar energía eléctrica de CC en energía eléctrica de CA en momentos en los que las baterías 50, 52 están suministrando energía eléctrica a la red de distribución 40. Cuando las baterías están cargándose almacenando energía eléctrica recibida desde los parques eólicos 42, 44, los convertidores 46, 48 acondicionan la salida de los parques eólicos 42, 44 para proporcionar una tensión y corriente de salida de CC adecuadas para cargar las baterías 50, 52. Cuando las baterías 50, 52 están proporcionando energía eléctrica a la red de distribución 40, los convertidores 46, 48 acondicionan la energía descargada por las respectivas baterías 50, 52 para proporcionar una tensión y corriente de salida a una frecuencia y fase apropiadas para la transmisión a la red eléctrica 40. Un experto habitual en la técnica entiende el diseño, la construcción y el funcionamiento de los convertidores 46, 48.

- 35 Al menos un sensor 54 está acoplado de manera operativa a la batería 50 y al menos un sensor 56 está acoplado de manera operativa a la batería 52. Los sensores 54, 56 están configurados cada uno con uno o más sensores para detectar y monitorizar uno o más parámetros de funcionamiento de batería, incluyendo pero sin limitarse a tensión, corriente de batería y temperatura, y para generar señales representativas de cada parámetro de funcionamiento de batería detectado. Un convertidor de datos 58 recibe una lectura en forma de señales comunicadas como datos procedente de los sensores 54, 56 y comunica las lecturas a un controlador de supervisión 60.

- 45 En la realización representativa, las baterías 50, 52, así como la batería 51 descritas a continuación en el presente documento, pueden incluir una o más baterías de almacenamiento electroquímicas recargables incluyendo, pero sin limitarse a, baterías de sodio-azufre, baterías de ion litio y baterías redox de vanadio. En la realización representativa, se toman decisiones sobre el uso de la batería a lo largo de diferentes aplicaciones de energía eólica basándose en cambios percibidos en la capacidad de batería.

- 50 El controlador de supervisión 60 puede implementarse usando uno o más procesadores 66 seleccionados de microprocesadores, microcontroladores, procesadores de señales digitales, microordenadores, unidades de procesamiento centrales, matrices de puertas programables en campo, dispositivos lógicos programables, máquinas de estados, circuitos lógicos, circuitos analógicos, circuitos digitales y/o cualquier otro dispositivo que manipule señales (analógicas y/o digitales) basándose en instrucciones operacionales que están almacenadas en una memoria 64. La memoria 64 puede ser un único dispositivo de memoria o una pluralidad de dispositivos de memoria incluyendo pero sin limitarse a memoria de sólo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria volátil, memoria no volátil, memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM), memoria flash, memoria caché y/o cualquier otro dispositivo que pueda almacenar información digital. Un dispositivo de almacenamiento masivo 68 puede ser un único dispositivo de almacenamiento masivo o una pluralidad de dispositivos de almacenamiento masivo incluyendo pero sin limitarse a discos duros, unidades ópticas, unidades de cinta, dispositivos de estado sólido no volátiles y/o cualquier otro dispositivo que pueda almacenar información digital. Una interfaz de entrada/salida (I/O) 62 puede emplear un protocolo de comunicación adecuado para comunicarse con al menos el convertidor de datos 58.

- 60 El procesador 66 funciona bajo el control de un sistema operativo, y ejecuta o depende de otro modo de un código

de programa informático integrado en diversas aplicaciones de software informático, componentes, programas, objetos, módulos, estructuras de datos, etc. para leer datos de, y escribir instrucciones en, el convertidor de datos 58 a través de la interfaz de I/O 62, ya sea implementado como parte del sistema operativo o como aplicación específica. El código de programa informático residente que se ejecuta en el controlador de supervisión 60 como conjunto de instrucciones incluye un algoritmo de monitorización de estado de baterías (BHSMA) 72 operativo para 5 recopilar y almacenar en la memoria 64, y/o en el dispositivo de almacenamiento masivo 68, parámetros de funcionamiento de batería recibidos desde sensores 54, 56 según se transmiten por el convertidor de datos 58 a través de la interfaz de I/O 62, así como analizar los parámetros de funcionamiento de batería con el fin de evaluar el estado de las baterías 50, 52 y gestionar el uso de las baterías 50, 52 basándose en la evaluación de estado tal 10 como describen las diversas realizaciones de la invención. El controlador de supervisión 60 puede usar el BHSMA 72 para determinar periódicamente una programación de batería óptima basándose en los parámetros de funcionamiento de batería, la corriente y la capacidad predicha de las baterías 50, 52, los requisitos operacionales de previsión de una aplicación de almacenamiento de energía particular, y las características inherentes de la batería 50, 52.

Una interfaz hombre-máquina (HMI) 70 está acoplada de manera operativa al procesador 66 del controlador de supervisión 60 de una manera conocida. La HMI 70 puede incluir dispositivos de salida, tales como pantallas alfanuméricas, un monitor táctil y otros indicadores visuales, y dispositivos de entrada y controles, tales como un teclado alfanumérico, un dispositivo de señalación, teclados numéricos, pulsadores, palancas de control, etc., que 15 pueden aceptar comandos o entradas del operario y transmitir la entrada introducida al procesador 66.

Con referencia a la figura 5, se presenta una programación de batería de ejemplo para las baterías 50, 52 (figura 4). El tiempo t_0 representa el tiempo en el que las baterías 50, 52 se ponen en servicio en los parques eólicos 42, 44. En el tiempo t_0 , ambas baterías 50, 52 tienen el 100% de su capacidad de batería de diseño, que es suficiente para 20 satisfacer los requisitos de aplicación para almacenamiento de energía en los respectivos parques eólicos 42, 44. El BHSMA 72 que se ejecuta en el controlador de supervisión 60 recopila y almacena regularmente datos relativos a la capacidad y condiciones de funcionamiento de las baterías 50, 52, que se adquieren mediante los sensores 54, 56 y se comunican mediante el convertidor de datos 58 a través de la interfaz de I/O 62 al controlador de supervisión 60.

En cualquier instante en el tiempo, las baterías 50, 52 están caracterizadas por una capacidad de batería que puede expresarse o bien como un estado de carga (SOC) o bien como una profundidad de descarga (DOD). El SOC refleja el nivel de carga de las baterías 50, 52 o, dicho de otro modo, la capacidad de carga disponible restante en cada una 30 de las baterías 50, 52 expresada numéricamente como porcentaje de una capacidad de carga nominal. Un SOC del 100 por ciento indica una carga completa en relación con la capacidad de carga nominal, un SOC del 0 por ciento indica que la batería 50 está completamente descargada en relación con la capacidad de carga nominal, y un SOC (por ejemplo, del 35 por ciento) entre completamente descargada y completamente cargada indica que la batería 50 sólo está cargada parcialmente. En una realización, el SOC para las baterías 50, 52 puede determinarse midiendo la 35 tensión de la batería con los sensores 54, 56 y luego convirtiendo la tensión de la batería con un cálculo que usa una curva de descarga conocida de la tensión como función del SOC para la batería 50. Los valores de SOC pueden compensarse para corregir según la temperatura y/o la corriente de la batería. Alternativamente, el SOC para las baterías 50, 52 puede determinarse midiendo las corrientes de las baterías como función del tiempo y convirtiendo la corriente de la batería con un cálculo del tiempo que integra las corrientes de las baterías. El controlador de supervisión 60 puede usarse para calcular el SOC de las baterías 50, 52.

La profundidad de descarga (DOD) es una cantidad alternativa para su uso en la caracterización del estado de carga de la batería 50 y se determina a partir de cambios en el SOC de la batería 50. La DOD representa la cantidad de 40 capacidad de carga eliminada de una batería 50 cargada y la cantidad de capacidad de carga después restablecida a la batería 50 cargada expresada numéricamente como fracción de una capacidad de carga nominal para la batería 50. Una DOD de la unidad (1) indica que la batería 50 se descarga completamente y después se carga completamente, y una DOD entre 0 y 1 indica que la batería 50 sólo se carga parcialmente y se descarga parcialmente.

Alternativamente, el SOC y la DOD pueden expresarse en términos de amperios-hora en lugar de la fracción de capacidad nominal o como porcentaje. Por ejemplo, la eliminación de 250 amperios-hora de la batería 50 de 50 capacidad nominal a 1000 amperios-hora y la posterior adición de 250 amperios-hora a la batería 50 da como resultado una DOD de 0,25 tal como se expresa en el presente documento.

A medida que el tiempo avanza desde el tiempo inicial t_0 , las capacidades de las baterías 50, 52 se degradan, tal como representan sus respectivas líneas continuas. Debido a diferentes demandas de aplicación de almacenamiento de energía en los parques eólicos 42, 44, la capacidad de batería 50 se degrada a un ritmo 55 parabólico con respecto al tiempo, mientras que la de la batería 52 se degrada a un ritmo lineal, e inicialmente mayor. La degradación se ve reflejada por la reducción de capacidad de batería para las baterías 50, 52 a medida que pasa el tiempo.

El controlador de supervisión 60 usará el BHSMA 72 para calcular la capacidad de batería para las baterías 50, 52 y comparar la capacidad de batería medida con un requisito de capacidad de almacenamiento de energía mínimo para 60 una aplicación o combinación de aplicaciones asociadas con cada una de las baterías 50, 52. Tal como se muestra

en la figura 4, antes del tiempo t_1 , las baterías 50, 52 cumplen los requisitos de capacidad de aplicación de almacenamiento de energía mínimos, y por tanto no son necesarios cambios de programación de batería.

En el tiempo t_1 , la capacidad de batería de la batería 50 ha disminuido hasta un valor que ya no cumple la capacidad de batería mínima para almacenamiento de energía requerida por la aplicación de almacenamiento de energía para la batería 50 en el parque eólico 42. En este caso, la capacidad de batería de la batería 50 ha disminuido al 75% de su valor inicial. El BHSMA 72 reconoce esta incidencia y, en respuesta a la determinación de una capacidad inadecuada, el BHSMA 72 notifica al operario del parque eólico 42 sobre la incidencia. Esto desencadena una secuencia de eventos que asignan una batería diferente 51, que normalmente está al 100% de su capacidad de batería de diseño, a la aplicación de almacenamiento de energía en el parque eólico 42. El operario de parque eólico desinstalará la batería 50 en el parque eólico 42 e instalará la batería 51 en el parque eólico 42 para dar servicio a la aplicación a la que antes daba servicio la batería 50. Un convertidor 47, similar en construcción y función a los convertidores 46, 48, está conectado eléctricamente entre la red eléctrica 40 y la batería 51. Al menos un sensor 55, que es similar a los sensores 54, 56, está acoplado de manera operativa a la batería 51 y, de manera similar a los sensores 54, 56, envía lecturas en forma de señales al convertidor de datos 58 para su comunicación al controlador de supervisión 60.

El BHSMA 72 que se ejecuta en el controlador de supervisión 60 optimizará entonces la programación de batería a lo largo de múltiples parques eólicos, incluyendo pero sin limitarse al parque eólico 42, determinando si la batería 50 retirada puede reasignarse o no a una aplicación diferente en un parque eólico diferente. En la realización representativa, el BHSMA 72 determina una programación de batería óptima que asigna la batería 50 al parque eólico 44, donde su capacidad se suma a la ya proporcionada por la batería 52. La reasignación de la batería 50 al parque eólico 44 y la introducción de la batería 51 al parque eólico 42 resultan evidentes en la figura 5, que representa la nueva disposición para las baterías 50, 51, 52 en los parques eólicos 42, 44.

La razón para la reasignación resulta evidente rápidamente a partir del análisis de la figura 4. La batería 52 en el parque eólico 44 también tiene una capacidad de batería umbral en la que la batería 52 ya no cumple la capacidad de batería mínima para almacenamiento de energía requerida por la aplicación de almacenamiento de energía para la batería 52 en el parque eólico 44. Con fines explicativos, puede suponerse que este valor umbral para la batería 52 es del 15 por ciento. Las trayectorias (líneas de trazos) para la degradación de capacidades de batería de las baterías 50, 52, si no se alteran, darían como resultado que ninguna de las baterías 50, 52 da servicio a las respectivas aplicaciones a las que están destinadas hasta el final de la vida para los parques eólicos 42, 44. Específicamente, las capacidades de batería para ambas baterías 50, 52 se degradarían hasta respectivos valores menores que su 75 por ciento y los umbrales del 15 por ciento de sus respectivas aplicaciones de almacenamiento de energía antes del final de la vida de sus respectivos parques eólicos 42, 44.

Sin embargo, en la programación óptima recomendada por el BHSMA 72, las capacidades de batería proyectadas (líneas continuas), la reasignación de la batería 50 para complementar a la batería 52 en el parque eólico 44 permite que la combinación de las baterías 50, 52 tenga una capacidad de batería suficiente para dar servicio a la aplicación de almacenamiento de energía en el parque eólico 44 hasta el final de la vida para el parque eólico 44. Debido a que la batería 50 se reasigna para dar soporte a la batería 52 en el parque eólico 44, sus capacidades de batería colectivas reducirán la pendiente de la trayectoria de degradación lineal para la batería 52.

La capacidad de almacenamiento de la batería 51 se degradará a lo largo del tiempo de la misma manera que la batería 50 en uso para dar servicio a la aplicación de almacenamiento de energía en el parque eólico 42. Sin embargo, a pesar de la degradación, la capacidad de almacenamiento de la batería 51 sigue siendo adecuada para dar servicio a la aplicación de almacenamiento de energía en el parque eólico 42 hasta el final de la vida para el parque eólico 42. Como resultado, el uso secuencial en el tiempo de la batería 50 y la batería 51 en el parque eólico 42 da servicio a la aplicación de almacenamiento de energía en el parque eólico 42 hasta el final de la vida para el parque eólico 42.

Al reasignar la batería 50 para dar servicio a la aplicación de almacenamiento de energía en el parque eólico 44 en lugar de retirarla del servicio o dejarla en el parque eólico 42, las recomendaciones sobre programación de batería determinadas por el BHSMA 72 evitan cualquier reasignación de batería adicional durante la duración de vida útil de los parques eólicos 42, 44. Por tanto, la programación de batería mostrada en la figura 5 representa una programación de batería óptima a lo largo de la vida de los parques eólicos 42, 44.

En realizaciones alternativas, el BHSMA que se ejecuta en el controlador de supervisión 60 puede gestionar baterías y aplicaciones de almacenamiento de energía adicionales en una multitud de parques eólicos además de los parques eólicos 42, 44.

La figura 6 muestra un diagrama de flujo 100 que ilustra una secuencia de operaciones para el controlador de supervisión 60 que puede usarse para programar operaciones de batería a lo largo de múltiples parques eólicos. En el bloque 102, el controlador de supervisión 60 recibe lecturas de sensor desde sensores que están monitorizando el estado de diversas baterías en diferentes parques eólicos, tales como la batería 50 en el parque eólico 42 y la batería 52 en el parque eólico 44. El BHSMA 72 calculará la capacidad de batería para cada batería a partir de los datos de sensor de capacidad.

En el bloque 104, el BHSMA 72 determina periódicamente si la capacidad de almacenamiento para cualquiera de las baterías monitorizadas se ha degradado como para resultar insuficiente para la respectiva aplicación para almacenamiento de energía. En una realización, el BHSMA 72 mantiene una capacidad de batería umbral para una aplicación de almacenamiento de energía a la que da servicio cada batería en una base de datos u otro tipo de estructura de almacenamiento de datos accesible para los programas que se ejecutan en el controlador de supervisión 60. La base de datos de aplicación de almacenamiento de energía puede mantenerse en el dispositivo de almacenamiento masivo 68 o en la memoria 64 del controlador de supervisión 60. El BHSMA 72 compara la capacidad de batería para almacenamiento de energía para cada una de las baterías monitorizadas con una capacidad de almacenamiento de energía mínima mantenida como entrada en la base de datos de aplicación de almacenamiento de energía. Si todas las baterías están proyectadas para cumplir la aplicación de almacenamiento de energía a la que están destinadas durante la vida de su respectivo parque eólico, entonces el BHSMA 72 continuará monitorizando la capacidad de almacenamiento de cada batería monitorizada (rama de decisión "No" en bloque 104). Sin embargo, si el BHSMA 72 determina que cualquiera de las baterías monitorizadas se ha degradado de tal manera que la respectiva capacidad de batería no cumple el requisito mínimo para la aplicación a la que da servicio para alcanzar el final esperado de la vida del correspondiente parque eólico, el BHSMA 72 marcará esa batería particular como deficiente de capacidad o aproximándose a la deficiencia de capacidad (rama de decisión "Sí" en bloque 104). La batería deficiente de capacidad se sustituirá por una batería diferente que tiene una capacidad de batería proyectada para ser adecuada para dar servicio a la aplicación a la que antes daba servicio la batería deficiente de capacidad y, preferiblemente, para dar servicio a esa aplicación hasta el final de la vida del correspondiente parque eólico.

En el bloque 106, el BHSMA 72 calcula una programación de batería óptima para todas las baterías monitorizadas y a lo largo de todos los parques eólicos. El BHSMA 72 evaluará, entre sus cálculos, la vida consumida de la batería y la vida restante de la batería para cada una de las baterías en un intento por encontrar una nueva ubicación con una aplicación diferente para la batería deficiente de capacidad. La batería deficiente de capacidad puede dar servicio a una nueva aplicación en su nueva ubicación o bien por sí sola, o bien en combinación con otra batería. Este último caso puede usar la batería deficiente de capacidad para prolongar la vida de una batería existente. El BHSMA 72 puede recomendar la instalación inmediata de la batería deficiente de capacidad para realizar una aplicación diferente o bien en el mismo parque eólico o bien en un parque eólico diferente, o el BHSMA 72 puede recomendar que la instalación se retrase.

Para calcular la programación de batería, el BHSMA 72 puede tener en cuenta las capacidades futuras proyectadas de todas las baterías 50, 51, 52 gestionadas por el controlador de supervisión 60; los requisitos de capacidad de almacenamiento de energía mínimos en la base de datos de aplicación de almacenamiento de energía; y por cuánto tiempo cumplirá la programación de batería los requisitos de capacidad de almacenamiento de energía mínimos. Las capacidades futuras proyectadas de las baterías 50, 51, 52 pueden determinarse basándose en datos históricos sobre capacidad de energía y condiciones de funcionamiento obtenidas de los sensores 54, 56; una curva de vida de la batería para cada una de las baterías 50, 51, 52; y previsiones de requisitos funcionales de aplicación de almacenamiento de energía. Otros datos usados a la hora de calcular la vida de servicio de batería con permutación pueden ser datos recopilados por el BHSMA 72; datos introducidos en el controlador de supervisión 60 a través de la HMI 70; datos introducidos de otro modo en, o generados internamente por el controlador de supervisión 60; o datos que residen en tablas de consulta y/o bases de datos, tales como la base de datos de aplicación de almacenamiento de energía.

En el bloque 108, la programación de batería óptima se comunica a los parques eólicos para realizar una acción en cuanto a la colocación de la batería. El control vuelve entonces al bloque 102 para continuar la monitorización de baterías.

Ya que sus capacidades de batería se degradan a lo largo del tiempo, optimizar y maximizar la vida útil de baterías de parque eólico puede proporcionar beneficios económicos significativos. Las baterías representan normalmente una gran inversión de capital y a menudo representan una gran fracción del coste global de un parque eólico. El valor monetario de la energía eléctrica producida por un parque eólico puede mejorarse optimizando la programación de batería debido a que las capacidades de almacenamiento se relacionan mejor con aplicaciones de diferentes requisitos de almacenamiento funcionales. Con el fin de optimizar simultáneamente el tiempo de vida de la batería y el valor económico de la energía eléctrica del parque eólico, el BHSMA 72 puede usarse para asignar baterías para dar servicio en diferentes aplicaciones teniendo en cuenta, entre otras cosas, la degradación de la capacidad de batería. Para ayudar a este proceso de asignación, pueden desplegarse sensores que miden la capacidad de batería y suministran esas lecturas en intervalos regulares al BHSMA 72. En cada intervalo de control apropiado, el controlador de supervisión 60 reasigna las baterías a lo largo de múltiples parques eólicos o dentro de un parque eólico para optimizar la programación basándose en requisitos funcionales futuros predichos y la condición de la batería proyectada.

Con referencia a las figuras 7 y 8 en las que números de referencia similares hacen referencia a características similares en la figura 6 y según una realización de la invención, el parque eólico 44 incluye ambas baterías 50, 52, pero cada una de las baterías 50, 52 da servicio a una aplicación de almacenamiento de energía diferente que requiere diferentes características de sistema de almacenamiento de energía.

Con referencia inicial a la figura 7, la batería 50 da servicio a una aplicación de almacenamiento de energía con más demanda en el parque eólico 44 que la aplicación de almacenamiento de energía a la que da servicio la batería 52. Como resultado, la capacidad de batería de la batería 50 para almacenamiento de energía se degrada a un ritmo acelerado en relación con la aplicación de almacenamiento de energía a la que da servicio la batería 52. Finalmente, la capacidad de almacenamiento de energía de la batería 50 cae por debajo de un requisito de capacidad de almacenamiento de energía mínimo para su aplicación particular antes del final de la vida del parque eólico 44. El BHSMA 72 que se ejecuta en el controlador de supervisión 60 detectará la degradación de la batería 50 y, debido a que la batería 50 no es adecuada para su aplicación prevista, determinará un patrón de uso de batería óptimo diferente para la programación de batería.

En la figura 8, el operario del parque eólico 44 ha implementado el patrón de uso de batería óptimo determinado por el BHSMA 72. El BHSMA 72 asigna una nueva batería 51 para sustituir la batería 50. La batería 51 puede seleccionarse para cumplir los requisitos de capacidad de almacenamiento de energía mínimos para la aplicación de almacenamiento de energía con más demanda en el parque eólico 44 durante el resto de la vida esperada del parque eólico 44. Sin embargo, debido a que la batería 50, incluso en su estado degradado, tiene una capacidad de almacenamiento restante más alta que la batería 52, el BHSMA 72 puede recomendar al operario del parque eólico 44 sustituir la batería 52 por la batería 50. En su nueva aplicación, la capacidad de batería de la batería 50 para almacenamiento de energía puede cumplir los requisitos de capacidad de la aplicación de almacenamiento de energía con menos demanda a la que da servicio originalmente la batería 52 durante el resto de la duración de la vida esperada del parque eólico 44. El patrón de uso de batería óptimo cumple los requisitos de capacidad de almacenamiento de energía mínimos de ambas aplicaciones de almacenamiento de energía en el parque eólico 44 más allá del final esperado de la vida del parque eólico 44, y puede evitar movimientos adicionales de las baterías 50, 51 antes del final de la vida del parque eólico 44. El BHSMA 72 puede determinar que la batería 52 puede moverse a un parque eólico diferente para dar servicio a una aplicación en ese parque eólico o la batería 52 puede simplemente desecharse.

Como apreciará un experto en la técnica, las realizaciones de la invención también pueden realizarse en un producto de programa informático integrado en al menos un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene un código de programa legible por ordenador integrado en el mismo. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un sistema, aparato o dispositivo electrónico, magnético, óptico, electromagnético, infrarrojo o semiconductor, o cualquier combinación adecuada de los mismos, que puede contener o almacenar un programa para su uso por parte de, o en conexión con, un sistema, aparato, o dispositivo de ejecución de instrucciones. Los medios de almacenamiento legibles por ordenador de ejemplo incluyen, pero no se limitan a, un disco duro, un disco flexible, una memoria de acceso aleatorio, una memoria de sólo lectura, una memoria de sólo lectura programable borrrable, 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 programa informático para llevar a cabo operaciones para las realizaciones de la presente invención en uno o más lenguajes de programación de procedimientos y orientados a objetos.

Los métodos descritos en el presente documento pueden implementarse mediante instrucciones de programa informático suministradas al procesador de cualquier tipo de ordenador para producir una máquina con un procesador que ejecuta las instrucciones para implementar las funciones/acciones especificadas en el presente documento. Estas instrucciones de programa informático también pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que puede dirigir a un ordenador para que funcione de una manera particular. Con esa finalidad, las instrucciones de programa informático pueden cargarse en un ordenador para provocar la realización de una serie de etapas operacionales y de ese modo producir un proceso implementado por ordenador tal que las instrucciones ejecutadas proporcionan procesos para implementar las funciones/acciones especificadas en el presente documento.

La terminología usada en el presente documento tiene el fin de describir sólo realizaciones particulares y no pretende limitar la invención. Tal como se usan en el presente documento, las formas en singular “un”, “una” y “el/la” pretenden incluir las formas plurales también, a menos que el contexto indique claramente otra cosa. 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 expuestos, pero no excluyen la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos diferentes de la misma. Además, en la medida en que los términos “incluye”, “que tiene”, “tiene”, “con”, “compuesto por” o variantes de los mismos se usan en la descripción detallada o las reivindicaciones, tales términos pretenden ser inclusivos de una manera similar al término “que comprende.”

Aunque la invención se ha ilustrado mediante una descripción de diversas realizaciones y aunque estas realizaciones se han descrito con considerable detalle, no es la intención del solicitante restringir o limitar de ningún modo el alcance de las reivindicaciones adjuntas a tal detalle. Ventajas y modificaciones adicionales resultarán evidentes rápidamente para los expertos en la técnica. Por tanto, la invención en sus aspectos más amplios no se limita a los detalles específicos, métodos representativos y ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. Por consiguiente, pueden realizarse desviaciones de tales detalles sin apartarse del alcance del concepto inventivo general del solicitante, tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de producción de energía eléctrica que comprende:
un primer parque eólico (42) que comprende una pluralidad de turbinas eólicas (10);
un dispositivo de almacenamiento de energía (50-52) configurado para dar servicio a una primera aplicación de almacenamiento de energía en el primer parque eólico; y
un controlador de supervisión (60) configurado para determinar si un atributo del dispositivo de almacenamiento de energía es menor que o igual a un umbral para la primera aplicación de almacenamiento de energía y programar el dispositivo de almacenamiento de energía (50-52) para una segunda aplicación de almacenamiento de energía en el primer parque eólico o en un segundo parque eólico (44) diferente del primer parque eólico, en el que el dispositivo de almacenamiento de energía es una batería, y el atributo es capacidad de batería.
2. Sistema de producción de energía eléctrica según la reivindicación 1, en el que la primera aplicación de almacenamiento de energía es la supresión de fluctuaciones de potencia, la estabilización de potencia en red de distribución, la mejora de precisión de la previsión de potencia, el almacenamiento de energía eléctrica de limitación de transmisión, la regulación de la capacidad de potencia o la variación en el tiempo de la producción de energía eléctrica, y
la segunda aplicación de almacenamiento de energía es la supresión de fluctuaciones de potencia, la estabilización de potencia en red de distribución, la mejora de precisión de la previsión de potencia, el almacenamiento de energía eléctrica de limitación de transmisión, la regulación de la capacidad de potencia o la variación en el tiempo de la producción de energía eléctrica.
3. Sistema de producción de energía eléctrica según la reivindicación 2, que comprende además:
un sensor (54, 56) acoplado de manera operativa con la batería (50-52), estando el sensor configurado para adquirir lecturas de tensión o corriente durante el funcionamiento de la batería en el primer parque eólico y para comunicar las lecturas al controlador de supervisión (60) para su uso a la hora de determinar si la capacidad de batería de la batería es menor que o igual al umbral para la primera aplicación de almacenamiento de energía.
4. Sistema de producción de energía eléctrica según la reivindicación 1, en el que la segunda aplicación de almacenamiento de energía se da en el primer parque eólico (42), y el controlador de supervisión (60) está configurado para provocar la instalación del dispositivo de almacenamiento de energía en el primer parque eólico para proporcionar energía almacenada para la segunda aplicación de almacenamiento eólica.
5. Sistema de producción de energía eléctrica según la reivindicación 1, en el que la segunda aplicación de almacenamiento de energía se da en el segundo parque eólico (44), y el controlador de supervisión (60) está configurado para provocar la instalación del dispositivo de almacenamiento de energía en el segundo parque eólico para proporcionar energía almacenada para la segunda aplicación de parque eólico.
6. Método implementado por ordenador para optimizar la programación de dispositivos de almacenamiento de energía en aplicaciones de energía eólica, comprendiendo el método:
comparar un atributo de un primer dispositivo de almacenamiento de energía en un primer parque eólico (42) con un umbral para una primera aplicación de almacenamiento de energía a la que da servicio el primer dispositivo de almacenamiento de energía (50) en el primer parque eólico; en el que el primer dispositivo de almacenamiento de energía es una batería, y el atributo es la capacidad de batería; y
en respuesta a que el atributo es menor que o igual al umbral, programar el primer dispositivo de almacenamiento de energía (50) para dar servicio a una segunda aplicación de almacenamiento de energía en el primer parque eólico o en un segundo parque eólico (44) diferente del primer parque eólico.
7. Método implementado por ordenador según la reivindicación 6, que comprende además:
detectar la tensión o corriente durante el funcionamiento de la batería en el primer parque eólico; y
en respuesta a cambios en la tensión detectada o la corriente detectada, determinar si la capacidad de batería de la batería es menor que o igual al umbral para la primera aplicación de almacenamiento de energía.
8. Método implementado por ordenador según la reivindicación 6, en el que la segunda aplicación de almacenamiento de energía se da en el primer parque eólico, y programar el primer dispositivo de almacenamiento de energía (50) para la segunda aplicación de almacenamiento de energía comprende además:

- provocar la desinstalación del primer dispositivo de almacenamiento de energía de la primera aplicación de almacenamiento de energía;
- provocar la instalación de un segundo dispositivo de almacenamiento de energía en el primer parque eólico para dar servicio a la primera aplicación de almacenamiento de energía; y
- 5 provocar la instalación del primer dispositivo de almacenamiento de energía en el primer parque eólico para dar servicio a la segunda aplicación de almacenamiento de energía.
9. Método implementado por ordenador según la reivindicación 6, en el que el primer dispositivo de almacenamiento de energía (50) está programado para dar servicio a la segunda aplicación de almacenamiento de energía hasta el final de la vida del primer parque eólico (42).
- 10 10. Método implementado por ordenador según la reivindicación 6, en el que la segunda aplicación de almacenamiento de energía se da en un segundo parque eólico (44) diferente del primer parque eólico (42), y programar el primer dispositivo de almacenamiento de energía para la segunda aplicación de almacenamiento de energía comprende además:
- 15 provocar la desinstalación del primer dispositivo de almacenamiento de energía de la primera aplicación de almacenamiento de energía;
- provocar la instalación de un segundo dispositivo de almacenamiento de energía en el primer parque eólico para dar servicio a la primera aplicación de almacenamiento de energía; y
- provocar la instalación del primer dispositivo de almacenamiento de energía en el segundo parque eólico para dar servicio a la segunda aplicación de almacenamiento de energía.
- 20 11. Método implementado por ordenador según la reivindicación 10, en el que el primer dispositivo de almacenamiento de energía (50) está programado para dar servicio a la segunda aplicación de almacenamiento de energía hasta el final de la vida del segundo parque eólico (44).
12. Método implementado por ordenador según la reivindicación 10, en el que el primer dispositivo de almacenamiento de energía actúa conjuntamente con un segundo dispositivo de almacenamiento de energía para dar servicio a la segunda aplicación de almacenamiento de energía en el segundo parque eólico.
- 25 13. Método implementado por ordenador según la reivindicación 6, en el que la primera aplicación de almacenamiento de energía es la supresión de fluctuaciones de potencia, la estabilización de potencia en red de distribución, la mejora de precisión de la previsión de potencia, el almacenamiento de energía eléctrica de limitación de transmisión, la regulación de la capacidad de potencia o la variación en el tiempo de la producción de energía eléctrica, y la segunda aplicación de almacenamiento de energía es la supresión de fluctuaciones de potencia, la estabilización de potencia en red de distribución, la mejora de precisión de la previsión de potencia, el almacenamiento de energía eléctrica de limitación de transmisión, la regulación de la capacidad de potencia, o la variación en el tiempo de la producción de energía eléctrica.
- 30 14. Producto de programa informático que comprende:
- 35 un medio de almacenamiento legible por ordenador; e instrucciones de programa para realizar el método implementado por ordenador según la reivindicación 6, en el que las instrucciones de programa se almacenan en el medio de almacenamiento legible por ordenador.

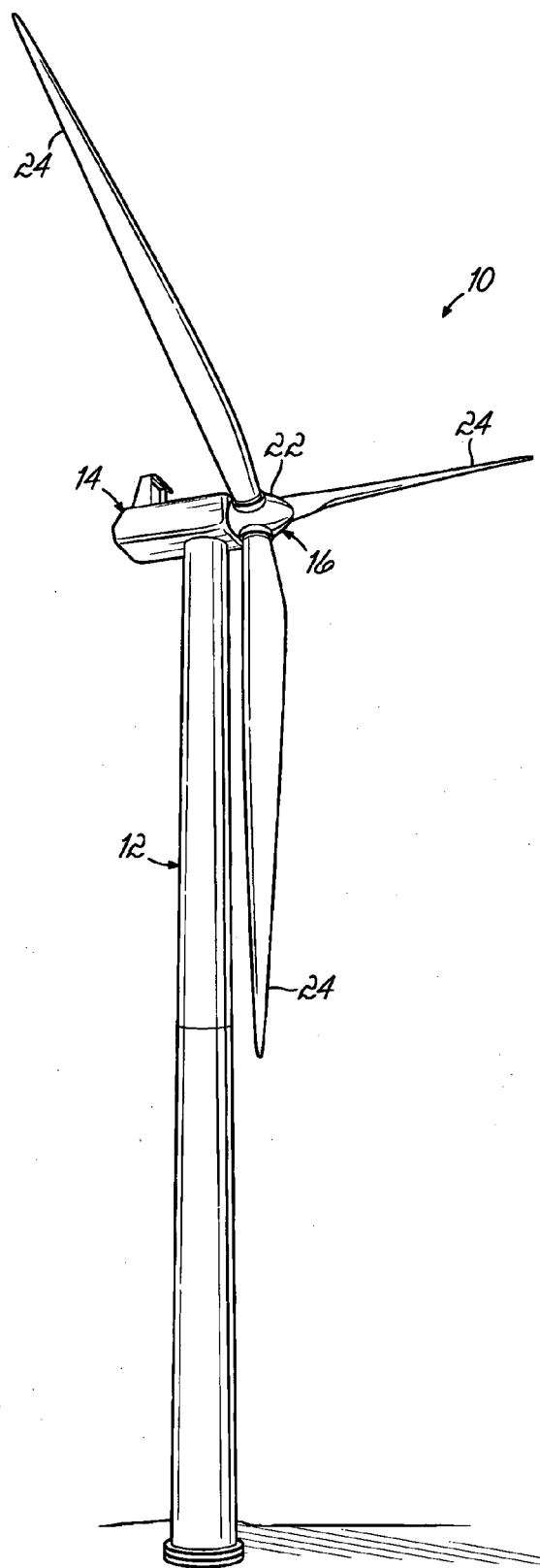


FIG. 1

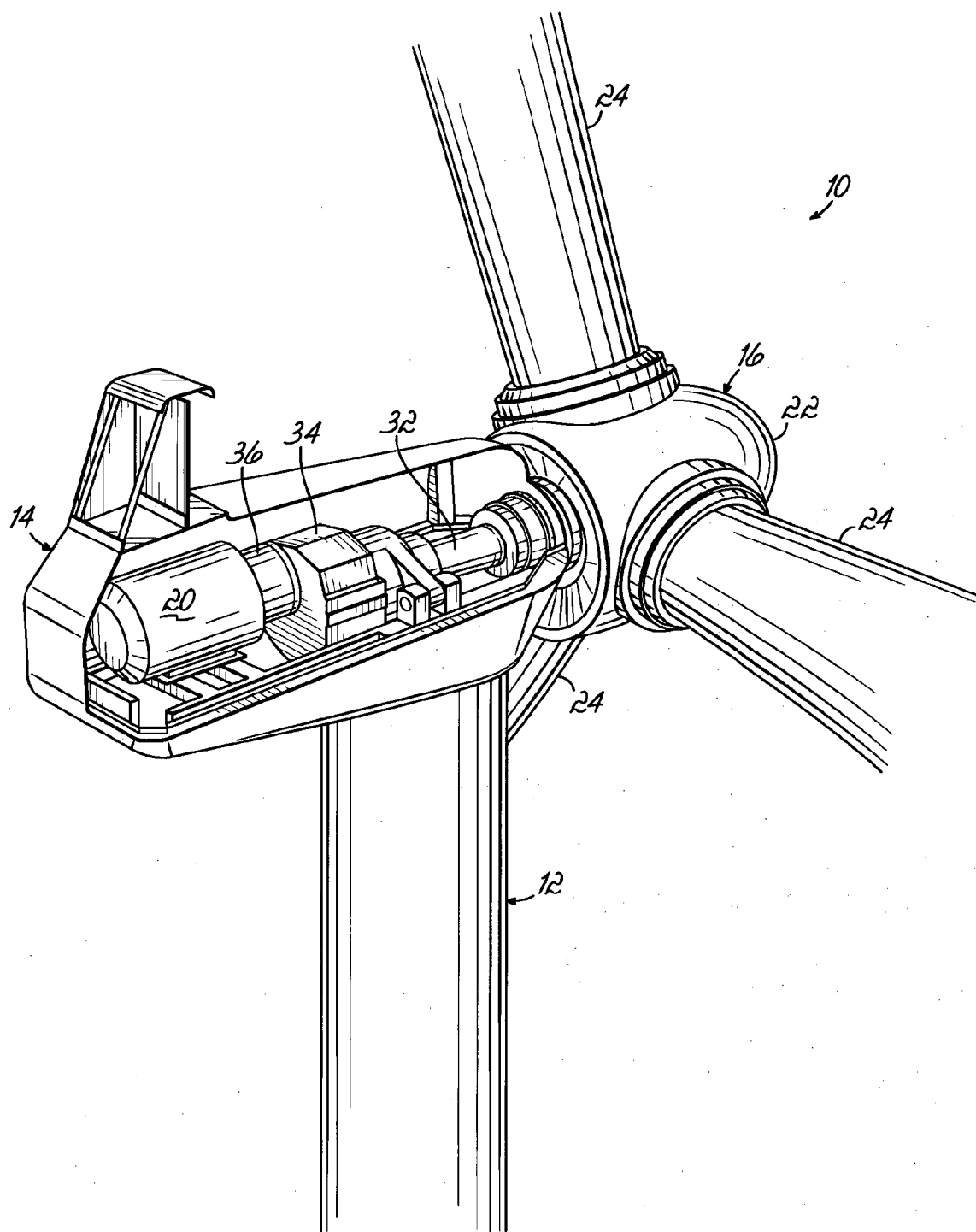


FIG. 2

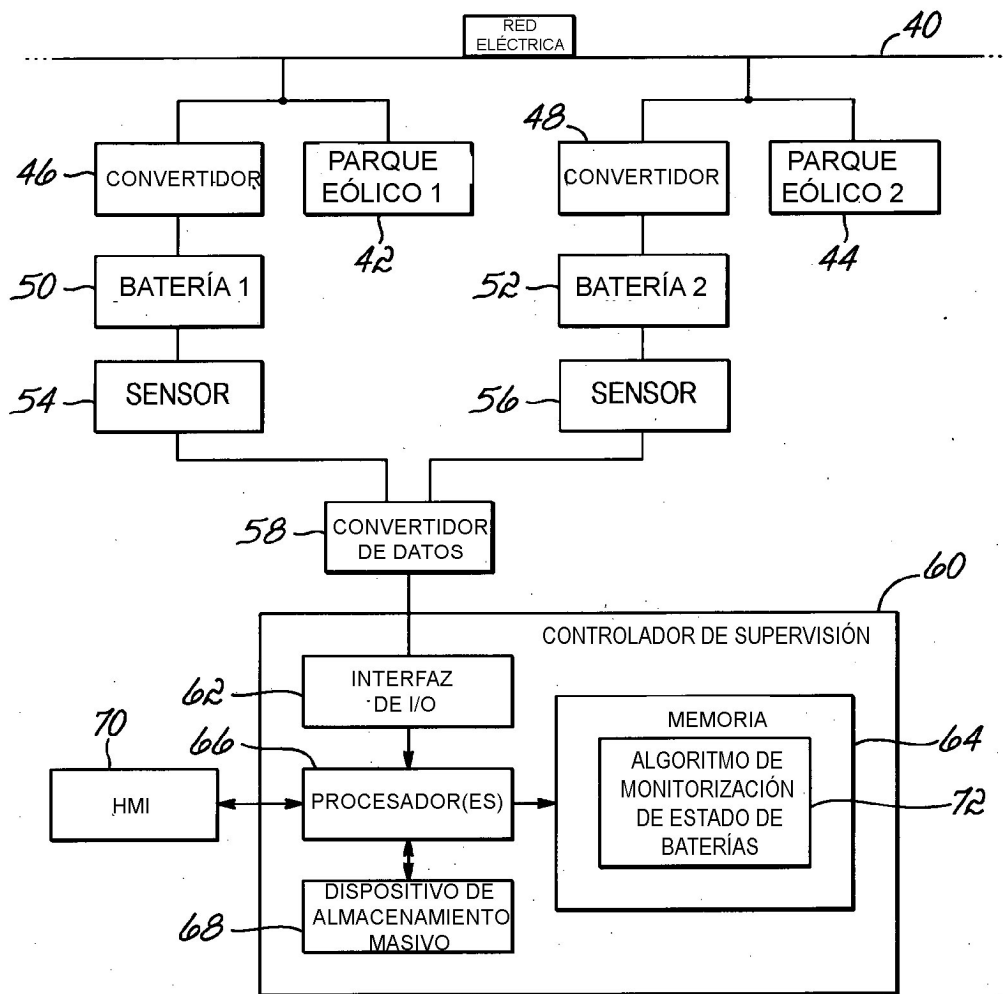


FIG. 3

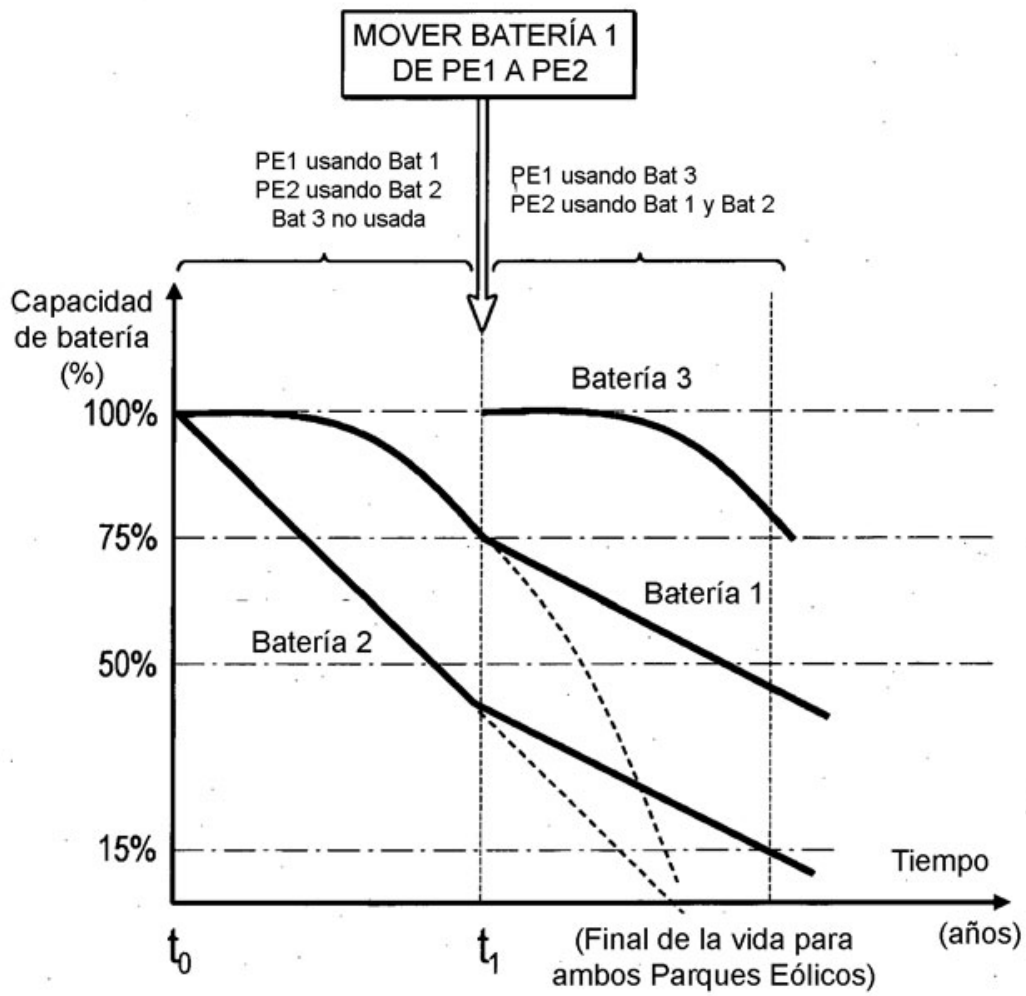


FIG. 4

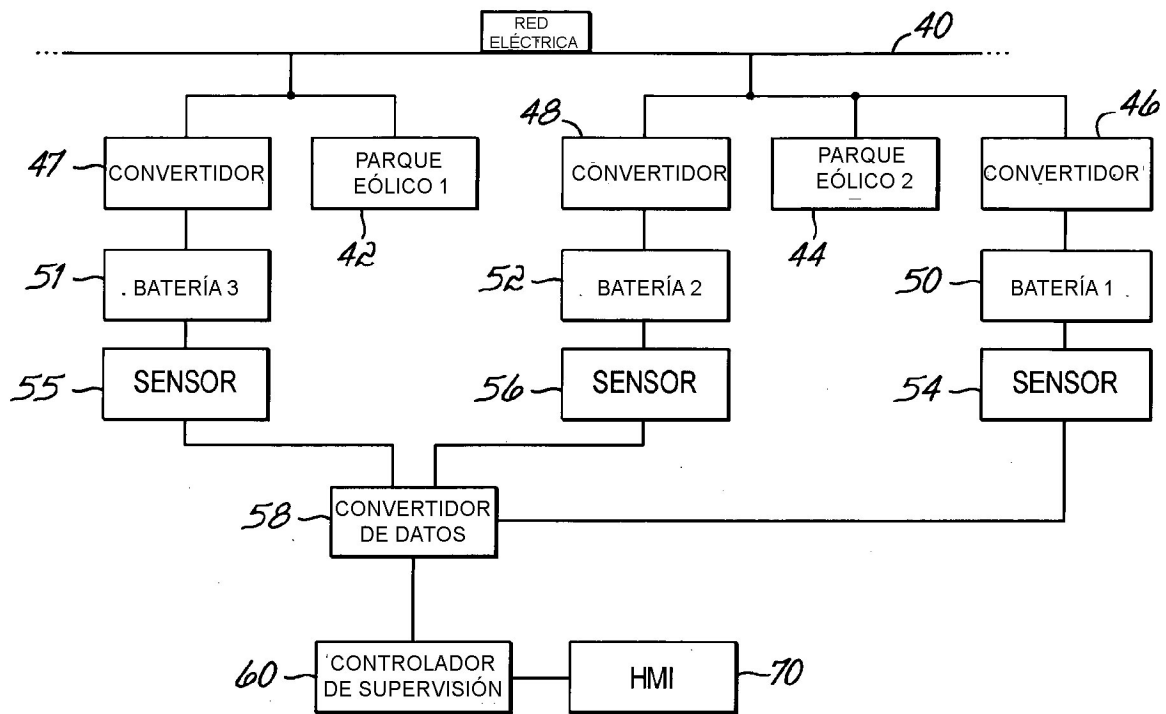


FIG. 5

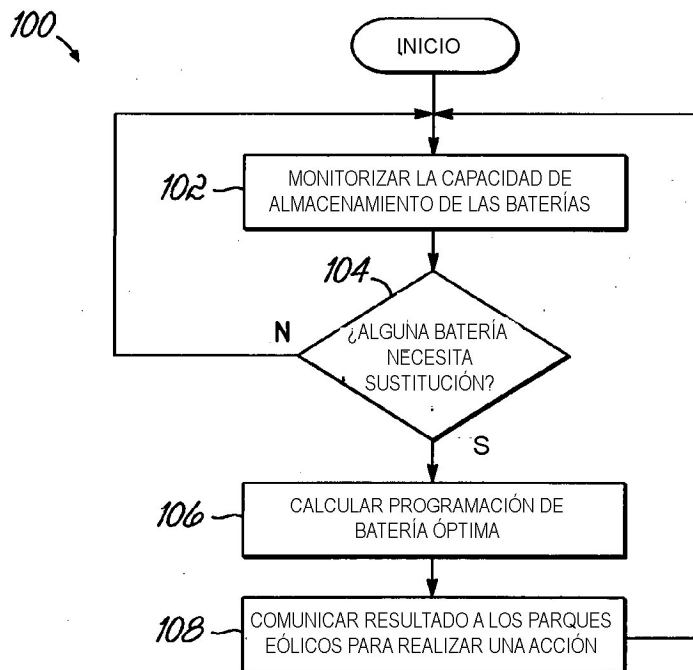


FIG. 6

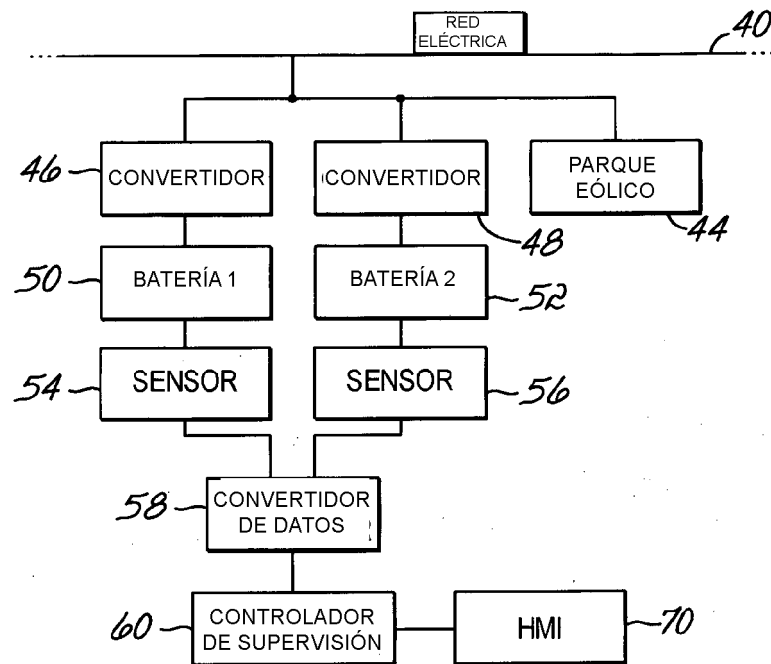


FIG. 7

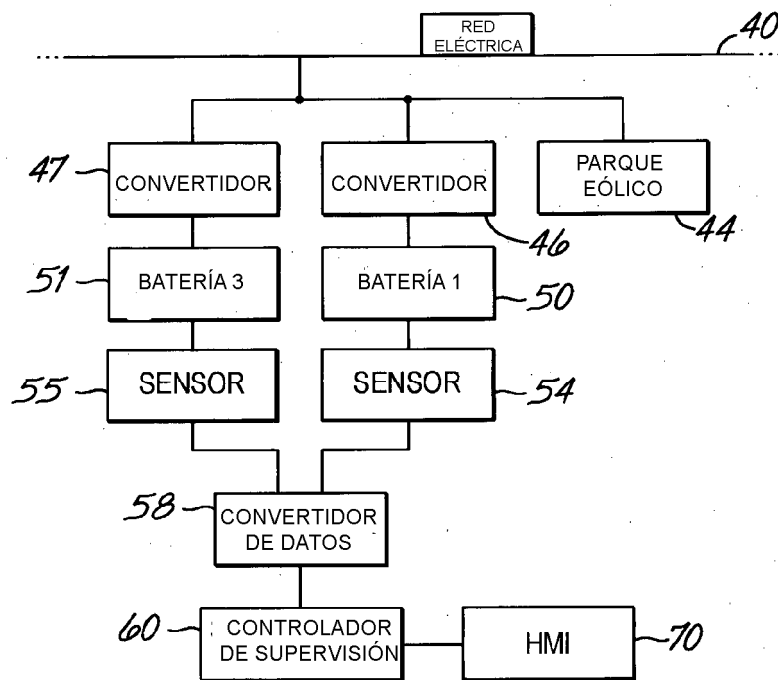


FIG. 8