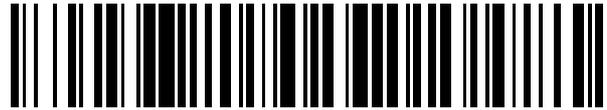


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 429**

51 Int. Cl.:

H02J 3/32

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2009 E 09819560 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2351189**

54 Título: **Control de sostenimiento de carga sensible a la frecuencia de sistemas de almacenamiento de electricidad para servicios auxiliares en una red de alimentación eléctrica**

30 Prioridad:

09.10.2008 US 248106

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

05.09.2016

73 Titular/es:

**THE AES CORPORATION (100.0%)
4300 Wilson Boulevard
Arlington, Virginia 22203, US**

72 Inventor/es:

**SHELTON, JOHN C. y
KATHPAL, PRAVEEN H.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 581 429 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

Control de sostenimiento de carga sensible a la frecuencia de sistemas de almacenamiento de electricidad para servicios auxiliares en una red de alimentación eléctrica

5 Antecedentes de la invención

10 La presente divulgación se refiere a la provisión de servicios auxiliares en una red de alimentación, y más en concreto a la regulación de frecuencia y la reserva sincronizada usando sistemas de almacenamiento de electricidad.

15 Para cualquier periodo de tiempo dado, por ejemplo, un día, los operadores de la red eléctrica estiman la cantidad de energía necesaria para cada segundo, minuto u hora de ese periodo de tiempo. Los suministradores de electricidad suministran esta cantidad estimada de energía por medio de centrales eléctricas. En general, el promedio de la carga real se encuentra relativamente cerca de la cantidad estimada. No obstante, hay fluctuaciones instantáneas en la cantidad de energía que se requiere, dando lugar a que la carga real sea más alta que la estimación o más baja que la estimación.

20 En respuesta a tales fluctuaciones, los suministradores de electricidad alteran la salida de potencia eléctrica procedente de las centrales eléctricas con el fin de que coincida con la carga. Este cambio en la salida de las centrales eléctricas en línea se denomina "seguimiento de carga". Cuando la carga es más alta que la potencia que se está entregando, es intuitivo que sea necesario aumentar la potencia de tal modo que los dispositivos eléctricos permanezcan completamente operativos. La figura 1 es una representación gráfica que ilustra una carga real 110 y un seguimiento de carga 120 por las centrales eléctricas. Tal como se puede ver, las centrales eléctricas en línea no son capaces de establecer una coincidencia exacta con las fluctuaciones de carga real. También existe una segunda razón, menos intuitiva, por la que las necesidades de potencia son iguales a la carga. Si la potencia suministrada es diferente de la carga de potencia, la frecuencia de la corriente CA que se suministra a hogares y empresas diferirá del patrón nominal, por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz. Esta diferencia en la frecuencia puede dar lugar a que aparatos, iluminación y otros dispositivos funcionen de forma ineficiente, o incluso de una forma insegura.

30 Para mantener la frecuencia de funcionamiento requerida de la corriente CA, los operadores del sistema de alimentación recurren a centrales eléctricas para proporcionar un servicio adicional que se denomina regulación de frecuencia. En la figura 1, la línea 130 ilustra cómo la regulación de frecuencia requiere ajustes momento a momento de más y menos potencia para mantener la frecuencia en el intervalo de funcionamiento deseado. Si la carga (demanda) es más baja que la potencia que se está suministrando, la frecuencia de salida aumenta por encima de 60 Hz. A la inversa, si la carga es mayor que la potencia suministrada, la frecuencia disminuye (a medida que los generadores ralentizan su producción de energía). Otros servicios auxiliares similares también responden a desviaciones en la frecuencia de la red de alimentación, tal como la reserva sincronizada que comporta centrales eléctricas de respuesta rápida que ya están sincronizadas con la frecuencia de la red y pueden comenzar a suministrar energía muy rápidamente en el caso de un fallo u otro problema con el suministro de alimentación. En general, servicios tales como la regulación de frecuencia y la reserva sincronizada, caen en una categoría a la que se hace referencia como Servicios Auxiliares para la red de alimentación, debido a que estos servicios operan para soportar los requisitos esenciales de proporcionar potencia y energía para su consumo.

45 Históricamente, la regulación de frecuencia, la reserva sincronizada y otros servicios auxiliares han sido provistos por las centrales eléctricas. No obstante, también se pueden usar algunas tecnologías de almacenamiento de energía, tales como baterías, volantes, condensadores, u otros dispositivos para suministrar energía a la red de alimentación eléctrica. Estas tecnologías de almacenamiento de energía, por su naturaleza, también tienen la capacidad de tomar energía en exceso de la red para almacenarse para su uso posterior así como de descargar energía a la red. Debido a que la regulación de frecuencia requiere ajustes constantes tanto de adición como de sustracción de la energía total en el sistema de momento a momento (véase la figura 1, línea 130), las tecnologías de almacenamiento de energía son muy adecuadas para satisfacer esta necesidad.

55 Las tecnologías de almacenamiento de energía no crean directamente una energía nueva, sino que prevén una eficiencia aumentada en el uso de la energía generada por centrales eléctricas, al hacer que esta coincida mejor con el cambio instantáneo en las necesidades en la red de alimentación. Esta eficiencia preverá un coste total inferior y menores emisiones en relación con el accionamiento del sistema de alimentación. Además, que las tecnologías de almacenamiento de energía abastezcan a servicios auxiliares permite que las capacidades energéticas de las centrales eléctricas existentes se enfoquen hacia la producción de energía para su consumo en lugar de desviarse a servicios que se requieren para mantener la red de alimentación, retardando potencialmente la necesidad de nuevas centrales eléctricas a medida que la demanda suba con el tiempo.

65 No obstante, la mayor parte de las tecnologías de almacenamiento de energía, en comparación con las centrales eléctricas, están limitadas en cuanto a la cantidad de energía total o la duración de energía que se puede suministrar o extraer de la red de alimentación eléctrica. Por ejemplo, en el caso de los sistemas de almacenamiento de energía de batería, la batería puede alcanzar un punto de encontrarse sin energía o completamente lleno de energía y, por lo

tanto, incapaz de realizar la función de regulación que se requiere en ese instante. No obstante, dadas las fluctuaciones arriba y abajo momento a momento necesarias para una regulación de frecuencia eficaz en la red de alimentación, una unidad de almacenamiento de energía que es incapaz de funcionar un momento, tal como el caso en el que la batería está vacía y se necesita energía, sería capaz de funcionar en el siguiente instante, tal como el caso en el que la batería vacía se encuentra ahora disponible para absorber energía en exceso. Para hacer frente a este reto, las tecnologías de almacenamiento de energía necesitan mecanismos, procesos y controles que posibiliten el patrón operativo de sostenimiento de carga más eficaz de la unidad de almacenamiento de energía para satisfacer las necesidades de la regulación de frecuencia y otros servicios auxiliares.

A pesar de que se han propuesto sistemas de control genéricos para las tecnologías de almacenamiento de energía conectadas con una red de alimentación, no se han logrado sistemas reales que puedan sostener de forma fiable la capacidad del sistema para servicios auxiliares en la red de alimentación. Por lo tanto, es deseable tener un sistema de control para sistemas de almacenamiento de energía que pueda coordinar de forma fiable el estado de carga (SOC, *state of charge*) o la capacidad de almacenar o descargar energía del sistema de almacenamiento de energía con las necesidades momento a momento de la red de alimentación para la regulación de frecuencia, la reserva sincronizada y otros servicios auxiliares. Además, es deseable que tal sistema de control opere para restablecer el sistema de almacenamiento de energía a un SOC óptimo de una forma que sostiene la capacidad en curso de la unidad de almacenamiento de energía para ser capaz de responder a señales automáticas o de expedición para estos servicios.

Por ejemplo, el documento WO2007/104167 divulga un método de accionamiento de un sistema de almacenamiento de energía de batería (BESS, *battery energy storage system*). De acuerdo con el método del documento WO2007/104167, se determinan unos puntos de consigna inferior y superior para el estado de carga (SoC) de la batería, y la batería se carga si el SoC se encuentra por debajo del punto de consigna inferior y se descarga si el SoC se encuentra por encima del punto de consigna superior. Si la batería está completamente cargada, la energía eléctrica se disipa en unos medios de disipación de energía, preferiblemente una resistencia.

Sumario

Las realizaciones divulgadas proporcionan sistemas, aparatos y métodos para controlar el comportamiento de carga o de descarga de un sistema de almacenamiento de energía que está energéticamente acoplado a la red eléctrica de tal modo que este prevé una disponibilidad sostenida de la capacidad de carga y de descarga adecuada para la regulación de frecuencia y otros servicios auxiliares para la red de alimentación cuando sea necesario, y se recupera hasta un nivel especificado de estado de carga (SOC) cuando no se encuentra en uso activo y las condiciones de la red lo permitan. Cuando un operador solicita regulación (es decir, añadir o retirar energía de la red) mediante expedición o a través de un control automatizado, el mecanismo de control confirma que el valor de SOC permitirá la carga o descarga solicitada y, entonces, permite que el sistema de almacenamiento de energía atienda la solicitud mediante la provisión de energía adicional o la absorción de energía en exceso.

Para mantener una carga apropiada, se supervisan un valor de estado de carga (SOC) del dispositivo de almacenamiento de energía, la frecuencia de red y la tasa de cambio de la frecuencia de red. Cuando no se está atendiendo una solicitud procedente del operador para regular la frecuencia de red, la carga del dispositivo de almacenamiento se puede aumentar o disminuir de tal modo que la carga se puede sostener dentro de un intervalo especificado. Una vez que el valor de SOC ha caído fuera de este intervalo, de forma apropiada se añade carga a, o se retira carga de, las células de almacenamiento, con la condición de que la frecuencia de red y la tasa de cambio de la frecuencia de red tengan unos valores apropiados.

Una mejor comprensión de los principios y ventajas de la presente invención se puede obtener con referencia a la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación gráfica que ilustra una carga real y un seguimiento de carga, así como potencia de regulación.

La figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de almacenamiento de energía a modo de ejemplo conectado con la red de alimentación para servicios auxiliares.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método de sostenimiento de un intervalo especificado de carga en el sistema de almacenamiento de energía que se usa para regular una frecuencia de funcionamiento de una red eléctrica.

La figura 4 es una gráfica que muestra una respuesta lineal a desviaciones de frecuencia en la red de alimentación.

Las figuras 5a y 5b son unas gráficas que ilustran dos ejemplos de mantenimiento de carga para el dispositivo de almacenamiento de energía.

La figura 6 es una tabla que muestra un ejemplo de las acciones respectivas emprendidas para diversos estados de la frecuencia de red y el estado de carga del dispositivo de almacenamiento de energía.

Descripción detallada

Las realizaciones divulgadas proporcionan sistemas, aparatos y métodos para mantener el estado de carga (SOC) de un dispositivo de almacenamiento de energía que está energéticamente acoplado a la red eléctrica para proporcionar servicios auxiliares. Como un ejemplo, cuando un operador solicita regulación (es decir, añadir o retirar energía de la red), un sistema de regulación atiende la solicitud mediante la provisión de energía adicional procedente del dispositivo de almacenamiento de energía o la absorción de energía en exceso al dispositivo de almacenamiento de energía. Con el fin de responder de forma fiable a solicitudes de operador posteriores, la carga en el dispositivo de almacenamiento de energía se sostiene dentro de un intervalo especificado.

A modo de antecedentes, y para facilitar una comprensión de los principios tras la invención, una unidad de regulación de frecuencia que emplea baterías como células de almacenamiento de energía se describirá como un ejemplo de un servicio auxiliar al que se pueden aplicar los principios de la invención. Es posible aplicar estos principios a la gestión y el control de otros tipos de dispositivos de almacenamiento de energía tales como volantes, condensadores, y otras tecnologías, caso en el cual los valores y los puntos de consigna se ajustarían para responder por las características relevantes del sistema elegido. La figura 2 es un diagrama de bloques de una unidad de regulación de frecuencia 200. La unidad de regulación de frecuencia 200 proporciona y recibe energía a y de una red eléctrica 205. Por ejemplo, la energía se puede proporcionar a través de una subestación local o líneas de transmisión. De esta forma, la red eléctrica proporciona una cantidad apropiada de potencia para la carga actual, a una frecuencia nominal especificada, por ejemplo, 60 Hz.

La unidad de regulación de frecuencia 200 incluye un conjunto de células de almacenamiento de energía 210, tales como baterías. En una realización, se usan baterías avanzadas de ión litio. El conjunto de células de almacenamiento de energía, tales como las baterías 210, está energéticamente acoplado a la red eléctrica. Tal como se usa en el presente documento, la expresión “energéticamente acoplado” quiere decir que la energía puede fluir de un objeto a otro. Por ejemplo, la electricidad en forma de una corriente CA o CC puede fluir de un objeto a otro de una forma bidireccional. Las baterías 210 proporcionan energía a la red 205 o reciben energía de la red 205, según sea necesario, por ejemplo, para regular la frecuencia de red.

Cuando se está proporcionando energía a la red 205, una corriente CC se desplaza de las baterías 210 a unos convertidores bidireccionales de CA/CC 215, que convierten la corriente CC en una corriente CA. En una realización, se usan onduladores para la conversión de CC a CA. Cuando se almacena energía procedente de la red, se usan rectificadores para la conversión de CA a CC. Se pueden usar diferentes tipos de onduladores y rectificadores, tal como será evidente a un experto en la materia. La corriente CA fluye entre los convertidores 215 y la red 205 por medio de un transformador 220.

Un sistema de conversión de potencia (PCS, *power conversion system*) 225 es un sistema de control lógico para los convertidores bidireccionales de CA/CC 215. Un controlador lógico programable (PLC, *programmable logic controller*) indica al PCS 225 que conecte o desconecte los convertidores 215 de las baterías 210 y/o la red 205. En una realización, la conexión entre el transformador 220 y la red 205 puede ser mediante un conmutador manual, el cual se encuentra normalmente cerrado durante el funcionamiento del sistema 200.

En una realización, el controlador lógico programable (PLC) 230 usa una lógica de programa en escalera (LADDER) para producir un control en tiempo real. El PLC 230 envía y recibe señales de datos a el PCS 225 por medio de una línea de interfaz de datos (DI, *data interface*) 3. Entradas a modo de ejemplo al PLC 230 desde el PCS 225 son una señal de estado de disponibilidad, y salidas a modo de ejemplo desde el PLC 230 son la cantidad de energía a cargar o descargar, e instrucciones para conectar/desconectar los convertidores 215 con/de la red 205 y/o las baterías 210.

Para mantener las baterías en un estado que posibilita que estas respondan a solicitudes de añadir energía a o absorber energía de la red, el sistema 200 incluye un sistema de gestión de batería (BMS, *battery management system*) 235. El BMS 235 equilibra las células de batería 210 y mantiene un conocimiento de un estado de carga (SOC) de las células. El SOC de las baterías 210 es una medición de la capacidad actual de las baterías de enviar y recibir energía. Entradas a modo de ejemplo al PLC 230 desde el BMS 235, por medio de la línea de DI 4, son las capacidades de potencia de las baterías 210 (por ejemplo, en MW-segundo), defectos y el SOC.

En una realización, el SOC es un porcentaje que va de un 0 % a un 100 %, en el que un 100 % quiere decir que no se puede almacenar más energía en las baterías 210. En un aspecto, el SOC se calcula a partir de niveles de tensión de circuito abierto y/o de circuito cerrado. No obstante, el SOC se puede calcular en cualquier número de formas, tal como es conocido por un experto en la materia.

Se puede usar una unidad de terminal remoto (RTU, *remote terminal unit*) 250 para conectar con un sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*) 255 por medio de la línea de DI 1. En una realización, el SCADA está asociado con un operador (por ejemplo, un sistema de servicio público) que acciona la red 205. Las entradas a modo de ejemplo desde el SCADA 255 al PLC 230 incluyen una

solicitud para regular la frecuencia de red. La solicitud puede incluir una cantidad de energía (por ejemplo, en MW) a cargar o descargar, y podría incluir la frecuencia de red.

5 Las salidas a modo de ejemplo desde el PLC 230 incluyen un estatus y una disponibilidad del sistema 200. En una realización, el PLC 230 podría enviar información al SCADA 255 acerca del SOC o sus capacidades, de tal modo que el SCADA 255 sabe con antelación si el sistema puede proporcionar o no un servicio.

10 El PLC 230 también puede recibir señales de datos a través de la línea de DI 2 a partir de un transductor 260, que está acoplado a la red 205. El transductor 260 detecta la señal de CA en la red 205 para determinar la frecuencia de la electricidad que se está entregando a través de la red.

15 En una implementación, un suministro de alimentación ininterrumpible (SAI) 265 suministra potencia al PLC 230. En otra realización, el PLC 230 envía y recibe señales (por medio de la línea de DI 5) a partir de una unidad de HVAC 240 para mantener unas condiciones ambientales apropiadas para las baterías 210 y otros componentes. Entradas a modo de ejemplo al PLC 230 desde la HVAC 240 son temperatura y humedad, y una salida a modo de ejemplo a la HVAC es un ajuste de termostato.

20 En aún otra implementación, un ordenador 245 está conectado con el PLC 230 para controlar, programar o establecer parámetros del PLC 230. El ordenador 245 también se puede usar para supervisar el sistema 200. Entradas a modo de ejemplo desde el ordenador 245 al PLC 230 son señales de parada y de arranque. Salidas a modo de ejemplo al ordenador 245 son eventos de registro, datos de registro y notificaciones de alertas.

25 Cuando se está realizando la regulación de frecuencia, se puede recibir una solicitud en el PLC 230 a partir del operador de la red eléctrica a través del SCADA 255 y la RTU 250. La solicitud puede incluir instrucciones para absorber energía de o añadir energía a la red eléctrica. En una realización, la solicitud especifica cuánta energía transferir o una tasa para la transferencia. En respuesta, se transfiere energía a/desde la red, dependiendo de si la solicitud es para aumentar o disminuir la frecuencia de red actual o, de forma equivalente, para absorber o añadir energía.

30 A continuación de lo anterior, la regulación se puede detener en respuesta a otra solicitud de expedición procedente del operador. Por ejemplo, el operador puede considerar que la frecuencia de red se encuentra a, o cerca de, la frecuencia nominal deseada. El operador también puede considerar que no es probable que la frecuencia cambie pronto, por ejemplo, debido a que el operador puede predecir que la generación de energía por centrales en línea coincidirá con la carga esperada. En otro ejemplo, la regulación se puede detener basándose en una medición por el sistema 200 que la frecuencia de red se encuentra a, o cerca de, el valor deseado. La regulación también se puede detener por otras razones, tales como detectar un defecto.

35 Durante la regulación, el SOC de las baterías puede subir o caer drásticamente. Por ejemplo, las baterías pueden haber transmitido una cantidad significativa de energía a la red, dejando de este modo las baterías con muy poca carga (por ejemplo, un SOC de aproximadamente un 20 %). En otro ejemplo, las baterías pueden haber recibido una gran cantidad de energía de la red, dejando de este modo las baterías con una cantidad alta de carga (por ejemplo, un SOC de aproximadamente un 85 %). En ambos de estos casos, las baterías se encuentran en malas condiciones para continuar regulando la frecuencia de red si es necesario, respectivamente, añadir o absorber más energía. Por lo tanto, para proporcionar un servicio más fiable, la carga en las baterías se modifica de acuerdo con los principios de la invención, para mantener esta dentro de un intervalo deseable durante la mayor cantidad de tiempo posible.

40 La modificación puede ser aumentar o disminuir la carga, según sea apropiado. La modificación solo tiene lugar cuando es beneficioso obrar de este modo, para equilibrar la necesidad de un SOC apropiado con las necesidades globales del sistema de distribución de alimentación. De acuerdo con una implementación, la modificación se lleva a cabo mientras que la frecuencia de red se encuentra en una banda inactiva que no requiere regulación alguna. Durante este tiempo, se puede añadir/retirar carga hasta el valor de SOC, que se puede supervisar en el PLC 230 basándose en información a partir del BMS 230, se encuentra dentro de un intervalo especificado. Por ejemplo, el intervalo puede estar centrado en torno a un 50 % de tal modo que el sistema 200 puede igualmente proporcionar o recibir energía. En otras realizaciones, el estado objetivo puede ser más alto o más bajo que aproximadamente un 50 %, por ejemplo, cuando se conoce que es probable una gran transferencia en un sentido específico.

45 La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método general de sostenimiento de un intervalo especificado de carga en las baterías que se usan para regular una frecuencia de funcionamiento de una red eléctrica durante el tiempo que el sistema 200 no está añadiendo o absorbiendo potencia para proporcionar una regulación de frecuencia. En la etapa 310, se obtiene el valor de SOC actual. Por ejemplo, el PLC 230 puede recibir el SOC a partir del BMS 235. En una realización, el valor de SOC se supervisa de forma periódica.

50 En la etapa 320, se obtiene una medición de la frecuencia de red. Por ejemplo, el PLC 230 puede recibir la frecuencia de red medida del transductor 260 de forma periódica. La frecuencia recibida se comprueba para determinar si esta se encuentra dentro de una banda inactiva establecida. Por ejemplo, se podría realizar una determinación de si esta se encuentra dentro del intervalo de $60 \text{ Hz} \pm 0,025 \text{ Hz}$. Este intervalo puede ser el mismo

que el intervalo que usa el operador para determinar cuándo una solicitud al sistema 200 para la regulación de frecuencia está garantizada, o este puede ser diferente. Por ejemplo, se podría realizar una solicitud de regulación solo cuando la frecuencia de funcionamiento instantánea se encuentra fuera de un intervalo de $60 \text{ Hz} \pm 0,05 \text{ Hz}$.

5 Si la frecuencia de red instantánea se encuentra fuera de la banda inactiva, entonces el ajuste del SOC no es apropiado, debido a que una transferencia de energía a la red cuando la frecuencia es alta, o de la red cuando la frecuencia es baja, puede dar lugar a una necesidad de regulación por sí misma. En este caso, el proceso de la figura 3 termina y el PLC continúa con otras tareas en la etapa 325.

10 No obstante, si la frecuencia de red se encuentra dentro de la banda inactiva, se realiza una determinación en la etapa 330 de si el SOC se encuentra fuera de un intervalo de sostenimiento definido por unos límites superior e inferior L1 y L2. En una implementación, L1 podría ser igual a un 45 % de la plena capacidad de batería, y L2 podría ser igual a un 55 % de la capacidad. En la etapa 340, la carga se modifica si el SOC se encuentra fuera del intervalo de sostenimiento, pero la frecuencia de red se encuentra dentro de la banda inactiva, tal como se explica con mayor
15 detalle en lo sucesivo en el presente documento. Por ejemplo, si se determina que es deseable tener el SOC en un intervalo entre aproximadamente un 45 % - 55 %, entonces la carga se puede modificar para un SOC de aproximadamente un 35 %. En un caso de este tipo, el SOC se modifica transfiriendo energía de la red a las células de almacenamiento. Si se determina que el SOC se encuentra dentro del intervalo de sostenimiento en la etapa 330, no tiene lugar transferencia de energía alguna entre la red y las células de almacenamiento, y el proceso continúa en
20 la etapa 325.

Durante la modificación de la carga, la frecuencia de red se supervisa de forma continua para determinar si esta se ha salido de la banda inactiva, en la etapa 350. Si tiene lugar esto, el sistema 200 detiene la carga y continúa en la etapa 325. Si la frecuencia de red permanece dentro de la banda inactiva, el proceso avanza a la etapa 360.

25 En la etapa 360, se realiza una determinación de si el valor de SOC ha vuelto a un valor aceptable. En una realización, el intervalo aceptable es el mismo intervalo que se usa para determinar si es necesario que se modifique la carga en la etapa 330. En otra realización, el intervalo aceptable es más pequeño. Por ejemplo, la carga se puede modificar hasta que el SOC se encuentra en o cerca de un 50 %. De lo contrario, el valor de SOC puede merodear
30 cerca de un extremo del intervalo, y requerir modificación de carga repetidamente. Si el SOC no ha logrado un valor aceptable, se repiten las etapas 340 - 360. Una vez que se ha determinado que el SOC se encuentra a un nivel aceptable en la etapa 360, el sistema 200 detiene el proceso de carga y continúa en la etapa 325.

35 El proceso que se ilustra en la figura 3 se puede iniciar en una serie de formas diferentes. En una implementación, el PLC 230 puede supervisar directamente la frecuencia de la potencia de la red, por medio del transductor 260, para determinar cuándo la frecuencia se encuentra dentro de la banda inactiva establecida. Cuando se detecta esta condición, el PLC puede iniciar el proceso de la figura 3, para evaluar si es necesario que se modifique el SOC de las células de almacenamiento y, de ser así, proseguir con la modificación.

40 En otra implementación, el PLC puede interpretar instrucciones que se reciben del operador del sistema para determinar si la frecuencia de funcionamiento se encuentra en la banda inactiva. Por ejemplo, si las instrucciones a determinados suministradores de electricidad son para añadir o absorber energía a una tasa de transferencia relativamente baja, otros suministradores a los que no se les pide obrar de este modo en ese instante podrían inferir
45 que la frecuencia de funcionamiento se encuentra bastante cerca de la frecuencia nominal, e iniciar de ese modo el proceso de la figura 3.

Como una tercera posibilidad, el propio operador del sistema podría emitir información de estatus para indicar cuándo la frecuencia de funcionamiento se encuentra en la banda inactiva, o enviar una instrucción explícita para iniciar un procedimiento de mantenimiento de SOC.

50 A continuación se describirán con mayor detalle, con referencia a las figuras 4 y 5, los procesos particulares para regular la frecuencia de la red y para ajustar el SOC de las células de almacenamiento. La figura 4 es una gráfica que ilustra una realización del funcionamiento del sistema para regular la frecuencia de la red. El eje vertical representa la frecuencia detectada de la red en hercios, y el eje horizontal muestra la cantidad de energía que se transfiere entre las células de almacenamiento y la red, en megavatios. En el ejemplo de la figura 4, se usan 60 Hz como la frecuencia de red nominal. El área entre las líneas de trazos en el diagrama de la figura 4 representa un
55 intervalo de respuesta en el que se toleran fluctuaciones de la frecuencia de red en torno al valor nominal sin la necesidad de regularse. En el ejemplo que se ilustra, la banda inactiva es $60 \text{ Hz} \pm 0,05 \text{ Hz}$. Se apreciará que la frecuencia abarcada por la banda inactiva puede ser más grande o más pequeña que el intervalo de 0,10 Hz que se muestra en el presente ejemplo.

60 Cuando la frecuencia instantánea de la red se encuentra dentro del intervalo aceptable, no tiene lugar regulación alguna, es decir, se indica a los convertidores 215 que abran la conexión entre la red 205 y las células de almacenamiento 210, de tal modo que no se transfiera energía entre las mismas. Una vez que la frecuencia ha salido de este intervalo, los convertidores se activan para transferir energía, en un sentido que se corresponde con si la frecuencia se encuentra por encima o por debajo del valor nominal. En el ejemplo de la figura 4, unos valores

positivos en el eje horizontal representan la transferencia de energía desde las células de almacenamiento a la red. Por lo tanto, una vez que la frecuencia ha caído por debajo del valor nominal de 60 Hz en más de 0,05 Hz, los onduladores se activan para convertir corriente CC procedente de las células de almacenamiento en corriente CA y suministrar esta a la red. A la inversa, si la frecuencia supera el valor nominal en más de la tolerancia aceptable, los rectificadores se activan para convertir potencia procedente de la red en corriente CC y suministrar esta a las células de almacenamiento.

En el ejemplo de la figura 4, la cantidad de energía que se transfiere a o de la red es linealmente proporcional a la cantidad en la que la frecuencia de red instantánea se desvía de la frecuencia nominal. No obstante, también se pueden emplear otras funciones para la relación entre la desviación de frecuencia y la cantidad de energía que se transfiere, tal como un polinomio de orden superior que pasa a través del origen de la gráfica.

Las figuras 5a y 5b son unas gráficas que ilustran dos ejemplos de operaciones para sostener el SOC de las células de almacenamiento de acuerdo con los principios de la invención. En estas gráficas, el eje vertical representa el SOC de las células. Tal como se ha analizado previamente, esta operación solo tiene lugar mientras que la frecuencia instantánea se encuentra dentro de la banda inactiva. En el ejemplo de la figura 5a, se emplea una función escalón, de tal modo que una tasa fija de energía se transfiere a o de la red mientras que las células de almacenamiento se están descargando o cargando, respectivamente. En el ejemplo que se ilustra, la transferencia de carga y de descarga solo tiene lugar mientras que el SOC se encuentra fuera del intervalo de sostenimiento. Una vez que el SOC ha disminuido hasta el límite superior, por ejemplo, 55 %, o aumenta hasta el límite inferior, por ejemplo, un 45 %, la tasa de transferencia conmuta a 0 MW. Tal como se ha analizado previamente, no obstante, una vez que se ha iniciado la carga o la descarga cuando el SOC se encuentra fuera del intervalo, este puede continuar hasta un instante tal que el SOC alcanza un valor de un 50 %, o cerca del mismo.

En el ejemplo de la figura 5b, la tasa de transferencia es una función del estado de carga. En este caso, se emplea un polinomio de tercer orden para determinar la cantidad de energía que se va a transferir de acuerdo con el SOC. Asimismo, pueden emplearse polinomios de orden superior.

Se pueden emplear otros factores para determinar la tasa de carga o de descarga de las células de almacenamiento. Por ejemplo, la tasa de transferencia podría ser una función de la frecuencia de la red dentro de la banda inactiva, en lugar del estado de carga. Como otro ejemplo, la tasa de carga se podría atenuar de acuerdo con la cuota de mercado del suministrador de electricidad. Esto se puede hacer para evitar la posibilidad de que un suministrador con una gran cuota de mercado y, por lo tanto, una gran cantidad de capacidad de almacenamiento, afecte de forma adversa al estado global de la red al presentar una carga demasiado grande mientras se cargan sus células de almacenamiento, o añadir demasiada energía a la red cuando se están descargando sus células de almacenamiento.

La tabla de la figura 6 proporciona un ejemplo de las operaciones que se llevan a cabo para proporcionar servicios auxiliares en la red eléctrica y mantener el SOC de las células de almacenamiento que se usan para soportar tales servicios. Las filas de la tabla se corresponden con tres intervalos respectivos del SOC, en concreto por encima del límite superior L2 (por encima del intervalo), entre los límites L1 y L2 (dentro del intervalo), y por debajo del límite inferior L1 (por debajo del intervalo). Las columnas de la tabla muestran diferentes intervalos respectivos para la frecuencia de red, en relación con el punto de consigna nominal, por ejemplo, 60 Hz.

Las células de la tabla con un sombreado más oscuro indican acciones que se emprenden en respuesta a una fórmula o una orden expedida desde un operador de servicio. El sombreado más claro indica acciones que se emprenden para proporcionar mantenimiento de carga. Cuando la frecuencia instantánea es Muy Baja o Muy Alta, es decir, se encuentra fuera de la banda inactiva, la acción emprendida es descargar las células de almacenamiento a la red, o cargar las células de almacenamiento a partir de la red, respectivamente, suponiendo que las células de almacenamiento tengan una capacidad adecuada de realizar la acción requerida. Cuando la frecuencia se encuentra dentro de la banda inactiva, pero no en el punto de consigna, la acción a realizar depende de la frecuencia y el SOC. Si la frecuencia se encuentra por debajo del punto de consigna, las células de almacenamiento se descargan cuando el SOC se encuentra por encima del intervalo y están provistas con una carga por goteo cuando el SOC se encuentra por debajo del intervalo. Si la frecuencia se encuentra por encima del punto de consigna, las células de almacenamiento están provistas con una descarga por goteo cuando el SOC se encuentra por encima del intervalo y se cargan cuando el SOC se encuentra por debajo del intervalo.

Por ejemplo, los ejemplos anteriores se han descrito en el contexto de la regulación de frecuencia, en el que la potencia se añade a o se absorbe de la red con fines de seguimiento de carga. En esta situación, la decisión de añadir o absorber potencia está basada en el valor instantáneo de la frecuencia de funcionamiento en relación con unos valores umbral establecidos, por ejemplo, los límites de la banda inactiva. Los principios que se describen en el presente documento son igualmente aplicables a otros servicios auxiliares que responden a cambios en la frecuencia de funcionamiento de la red. Por ejemplo, para responder a una rápida caída en la frecuencia de funcionamiento, un parámetro tal como la tasa de cambio de la frecuencia se podría emplear además de, o en lugar de, el valor instantáneo de la frecuencia de funcionamiento, como un mecanismo desencadenante para una instrucción para añadir potencia a la red. Dentro de diferentes aplicaciones para servicios auxiliares, los puntos de

consigna del dispositivo se modificarían para ese servicio usando la misma estructura de control y de lógica que se describe para la regulación de frecuencia.

- 5 Se entenderá que la presente invención tal como se ha descrito en lo que antecede se puede implementar en forma de lógica de control usando soporte físico y/o usando soporte lógico informático de una forma modular o integrada. Basándose en la divulgación y en las enseñanzas que se proporcionan en el presente documento, un experto en la materia sabrá y apreciará otras formas y/o métodos para implementar la presente invención usando soporte físico y una combinación de soporte físico y soporte lógico.
- 10 Cualquiera de los componentes de soporte lógico o funciones que se describen en la presente solicitud, se puede implementar como código de soporte lógico para su ejecución por un procesador usando cualquier lenguaje informático adecuado tal como, por ejemplo, Java, C++ o Perl usando, por ejemplo, técnicas convencionales u orientadas a objetos. El código de soporte lógico se puede almacenar como una serie de instrucciones u órdenes en un medio legible por ordenador para su almacenamiento y/o transmisión, los medios adecuados incluyen memoria de acceso aleatorio (RAM, *random access memory*), una memoria de solo lectura (ROM, *read only memory*), un medio magnético tal como una unidad de disco duro o un disquete flexible o un medio óptico tal como un disco compacto (CD, *compact disk*) o DVD (*digital versatile disk*, disco versátil digital), memoria flash y similares. El medio legible por ordenador puede ser cualquier combinación de tales dispositivos de almacenamiento.
- 15
- 20 La descripción anterior de realizaciones a modo de ejemplo se ha presentado con fines de ilustración y de descripción. Las realizaciones se describen para explicar los principios de la invención y sus aplicaciones prácticas para posibilitar de ese modo que otros expertos en la materia utilicen la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método de respuesta a cambios en la frecuencia de funcionamiento de una red eléctrica (205) por medio de dispositivos de almacenamiento de energía (210) que están energéticamente acoplados a la red eléctrica, comprendiendo el método:
- 5 determinar si un parámetro de la frecuencia de funcionamiento de la red eléctrica se encuentra dentro de un intervalo predeterminado;
- 10 si se determina que el parámetro de frecuencia de funcionamiento se encuentra fuera de dicho intervalo predeterminado, ajustar la frecuencia transfiriendo energía entre los dispositivos de almacenamiento de energía y la red eléctrica;
- 15 si el parámetro de frecuencia de funcionamiento se encuentra dentro de dicho intervalo predeterminado, determinar si un estado de carga (SOC) de los dispositivos de almacenamiento de energía se encuentra dentro de límites predeterminados; y
- 20 transferir energía entre el dispositivo de almacenamiento de energía y la red eléctrica para llevar el SOC dentro de dichos límites predeterminados cuando el parámetro de frecuencia de funcionamiento se encuentra dentro de dicho intervalo predeterminado y el SOC del dispositivo de almacenamiento de energía se encuentra fuera de dichos límites predeterminados, en el que la transferencia comprende descargar o cargar el dispositivo de almacenamiento de energía, caracterizado por que
- 25 dicho parámetro de frecuencia de funcionamiento es la tasa de cambio de la frecuencia de funcionamiento y por que se transfiere energía entre la red y el dispositivo de almacenamiento de energía para regular la frecuencia a una tasa que es una función no lineal de la frecuencia de funcionamiento de la red, en el que la función es un polinomio de un orden más alto que uno.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- 30 supervisar el estado de carga (SOC) con un sistema de gestión de dispositivos de almacenamiento de energía a partir del cual se recibe un valor de SOC; y
- supervisar la frecuencia de red con un transductor a partir del cual se recibe la frecuencia de red, en el que el valor de SOC y la frecuencia de red se reciben en un control lógico programable.
3. El método de la reivindicación 1, en el que se transfiere energía entre la red y el dispositivo de almacenamiento de energía para llevar el SOC dentro de dicho límite predeterminado a una tasa que está basada en el SOC.
- 35 4. El método de la reivindicación 1, en el que se transfiere energía entre la red y el dispositivo de almacenamiento de energía para llevar el SOC dentro de dicho límite predeterminado a una tasa que está basada en la frecuencia de funcionamiento de la red.
- 40 5. El método de la reivindicación 1, en el que se transfiere energía entre la red y las células de almacenamiento para llevar el SOC dentro de dicho límite predeterminado a una tasa que está basada en la capacidad del dispositivo de almacenamiento de energía.
6. Un sistema (200) para responder a cambios en la frecuencia de funcionamiento de una red de distribución de electricidad (205), que comprende:
- 45 al menos un dispositivo de almacenamiento de energía (210);
- un convertidor (215) que, en respuesta a una orden para añadir energía o absorber energía de la red, está configurado para acoplar de forma selectiva dicho dispositivo de almacenamiento de energía a la red para transferir energía entre el dispositivo de almacenamiento de energía y la red; y
- 50 un sistema de mantenimiento de estado de carga (SOC) que está configurado para:
- determinar si un parámetro de la frecuencia de funcionamiento de la red eléctrica se encuentra dentro de un intervalo predeterminado;
 - ajustar, si se determina que el parámetro de frecuencia de funcionamiento se encuentra fuera de dicho intervalo predeterminado, la frecuencia de red transfiriendo energía entre los dispositivos de almacenamiento de energía y la red eléctrica;
 - determinar, si se determina que el parámetro de frecuencia de funcionamiento se encuentra dentro de dicho intervalo predeterminado, si un estado de carga (SOC) del dispositivo de almacenamiento de energía se encuentra dentro de unos límites predeterminados, y
 - controlar dicho convertidor para transferir energía entre el dispositivo de almacenamiento de energía y la red eléctrica para llevar el SOC dentro de dichos límites predeterminados cuando el parámetro de frecuencia de funcionamiento se encuentra dentro de dicho intervalo predeterminado y el SOC del dispositivo de almacenamiento de energía se encuentra fuera de dichos límites predeterminados, en el que la transferencia comprende descargar o cargar el dispositivo de almacenamiento de energía, caracterizado por que dicho parámetro de frecuencia de funcionamiento es la tasa de cambio de la frecuencia de funcionamiento, y por que el sistema de mantenimiento de SOC está configurado para transferir la energía entre la red y el dispositivo de almacenamiento de energía para
- 65

ajustar la frecuencia a una tasa que es una función no lineal de la frecuencia de funcionamiento de la red, en el que la función es un polinomio de un orden más alto que uno.

5 7. El sistema (200) de la reivindicación 6, en el que dicho sistema de mantenimiento de SOC incluye un controlador (230) configurado para indicar al convertidor que conecte y desconecte el dispositivo de almacenamiento de energía y la red.

10 8. El sistema (200) de la reivindicación 7, en el que el controlador está configurado para indicar al convertidor que transfiera energía entre la red y el dispositivo de almacenamiento de energía a una tasa que está basada en el SOC, en la frecuencia de funcionamiento de la red y/o en la capacidad del dispositivo de almacenamiento de energía.

15 9. El sistema (200) de la reivindicación 7, que incluye adicionalmente un sistema de gestión de células de almacenamiento (235) configurado para proporcionar datos al controlador que conciernen al estado de carga del dispositivo de almacenamiento de energía (210).

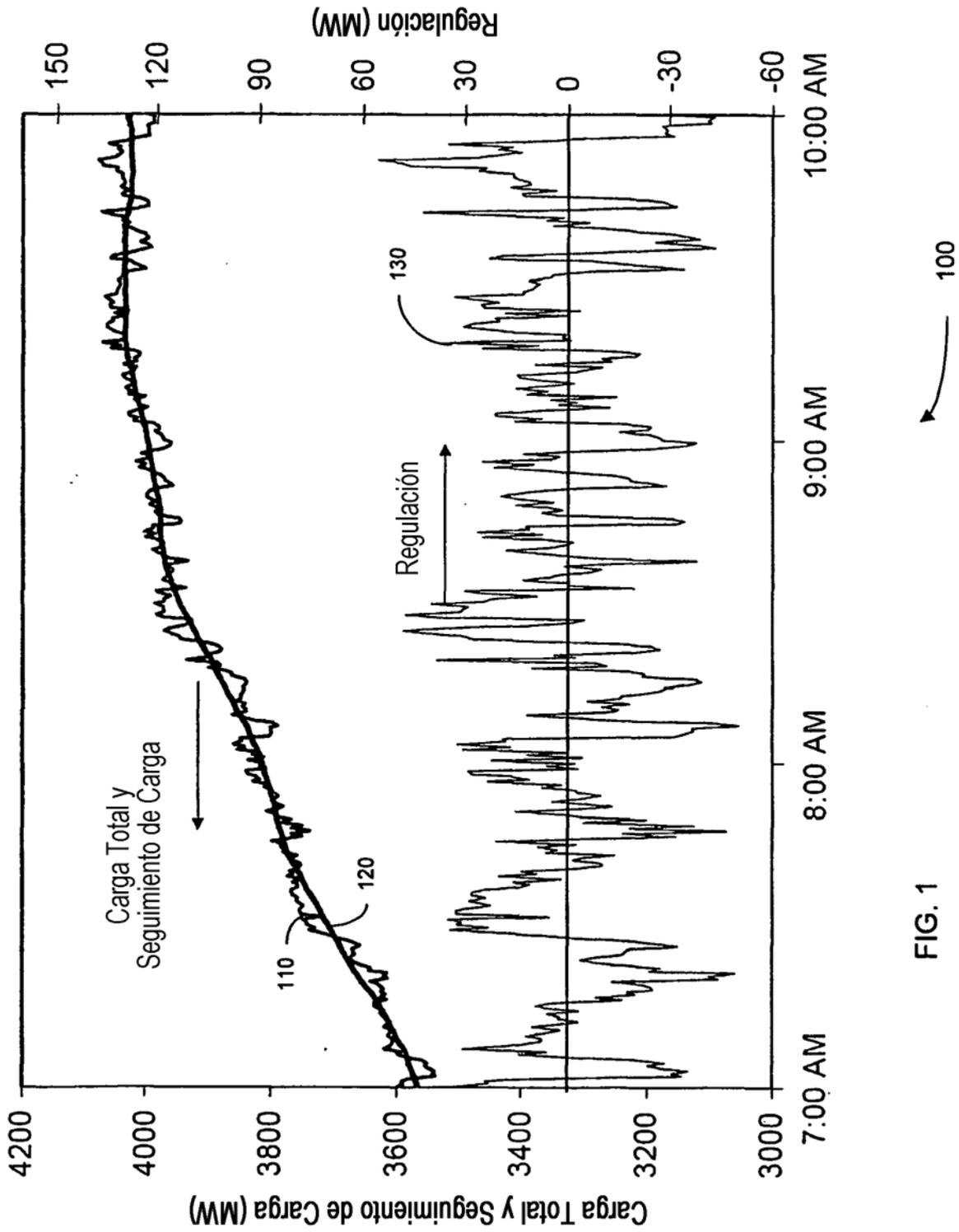


FIG. 1

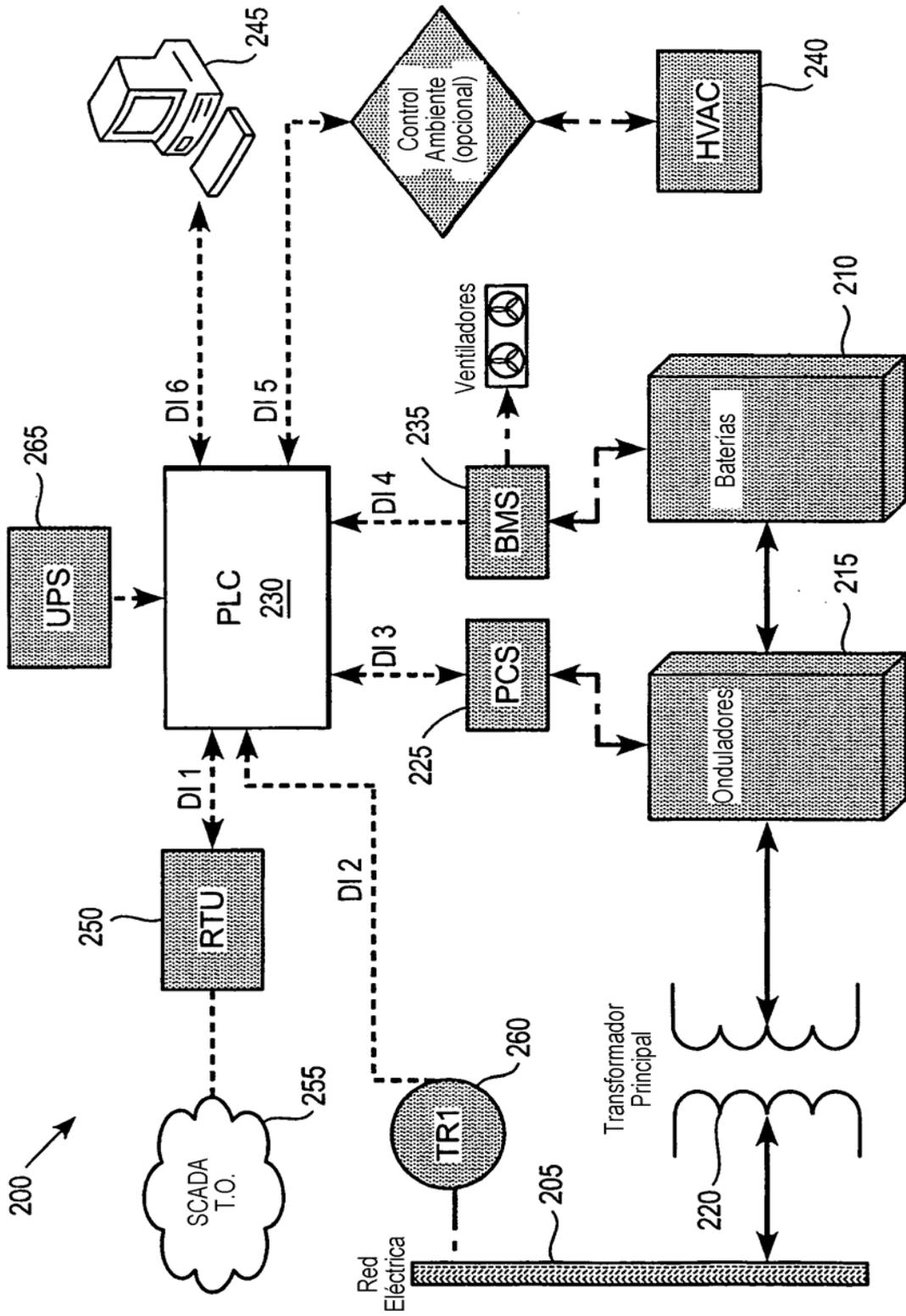
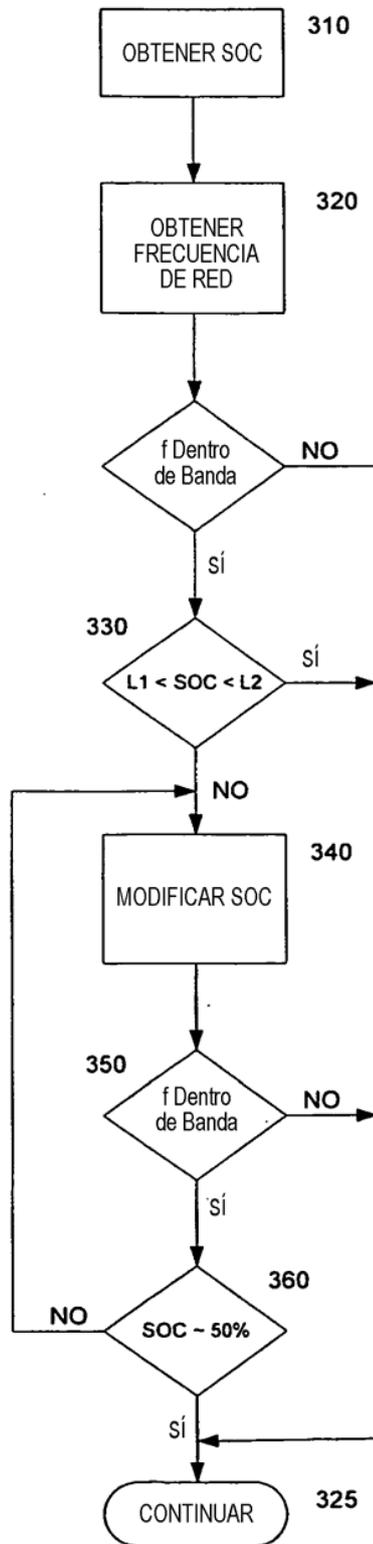
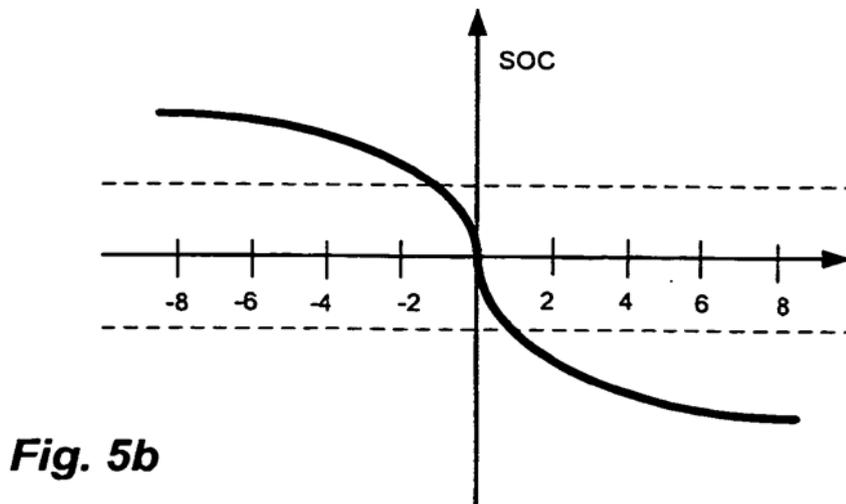
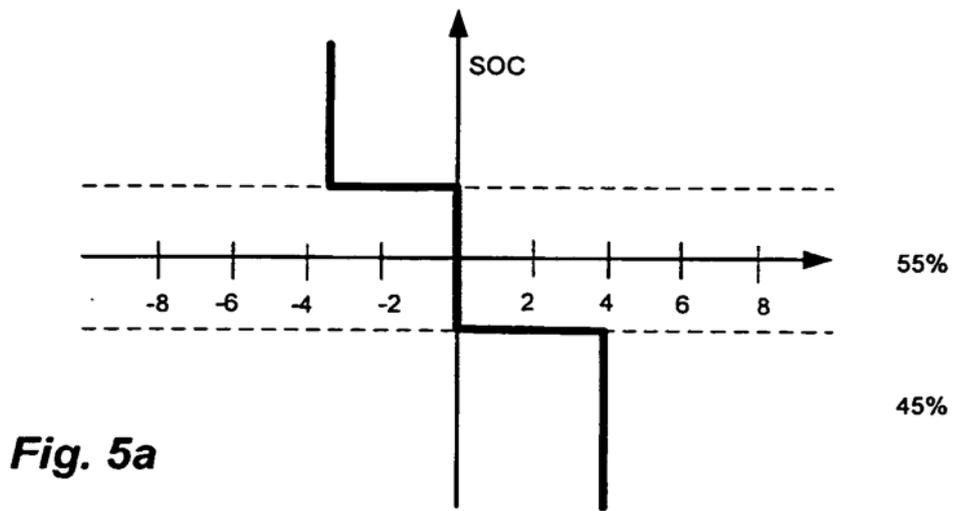
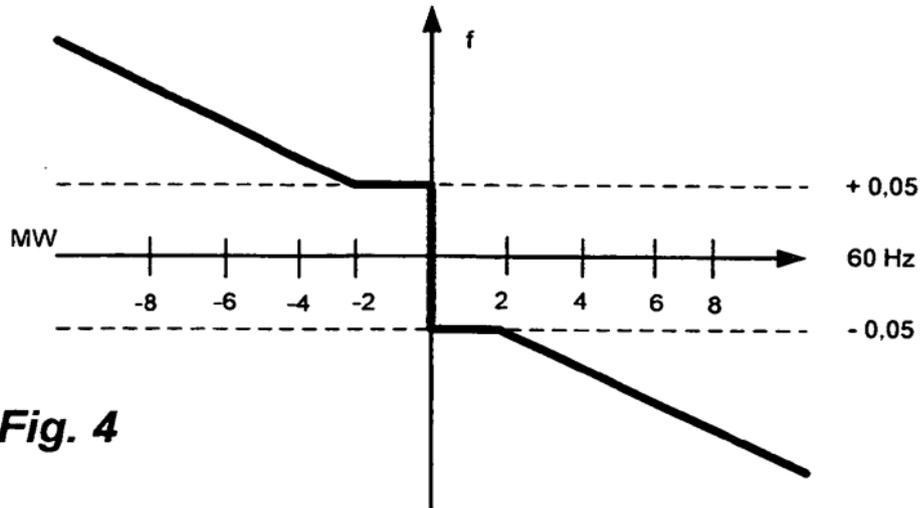


FIG. 2

Fig. 3





Estado de Carga		Frecuencia				
		Muy Baja	Ligeramente Baja	Punto de Consigna	Ligeramente Alta	Muy Alta
Por Encima del Intervalo	Descarga	Descarga	Descarga	0.0 Descarga por Goteo	0.0 Descarga por Goteo	Carga
	Descarga	Descarga	Descarga	0.0 Descarga por Goteo	0.0 Descarga por Goteo	Carga
	Descarga	Descarga	0	0.0 Descarga por Goteo	0.0 Descarga por Goteo	Carga
Dentro del Intervalo	Descarga	Descarga	Descarga	0.0 Descarga por Goteo	0.0 Descarga por Goteo	Carga
Por Debajo del Intervalo	Descarga	Descarga	0.0 Descarga por Goteo	0.0 Descarga por Goteo	0.0 Descarga por Goteo	Carga

FIG. 6