

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 901**

51 Int. Cl.:

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 7/00 (2006.01)

H02J 7/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.04.2014 PCT/EP2014/001125**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2014 WO14177264**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2014 E 14726513 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018 EP 2992582**

54 Título: **Aparato y método para gestionar energía almacenada**

30 Prioridad:

29.04.2013 GB 201307651

29.04.2013 GB 201307712

04.03.2014 GB 201403833

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

08.05.2018

73 Titular/es:

LEVEL ENERGY LTD (100.0%)

Delta Place, 27 Bath Road

Cheltenham GL53 7TH, GB

72 Inventor/es:

HOWE, ANDREW ROBERT LINTON

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 666 901 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

Aparato y método para gestionar energía almacenada

5 Campo técnico

La presente divulgación se refiere a aparatos para corregir o gestionar energía neta, por ejemplo, a aparatos para corregir o gestionar energía neta almacenada en dispositivos de almacenamiento de energía, por ejemplo, acumuladores, cuando se proporciona durante el funcionamiento la estabilización de redes de suministro eléctrico. Además, la presente divulgación se refiere a métodos de corrección o gestión de energía neta, por ejemplo, a métodos de corrección o gestión de energía neta almacenada en dispositivos de almacenamiento de energía, por ejemplo, acumuladores, cuando se proporcionan durante el funcionamiento la estabilización de redes de suministro eléctrico. La presente divulgación también se refiere a aparatos para abordar zonas muertas de batería, por ejemplo, cuando se proporcionan durante el funcionamiento la estabilización de redes de suministro eléctrico. Además, la presente divulgación se refiere a métodos de abordar zonas muertas de batería, por ejemplo, cuando se proporcionan durante el funcionamiento la estabilización de redes de suministro eléctrico. Además, la presente divulgación se refiere a productos de software almacenados en soportes de almacenamiento de datos legibles por máquina no transitorios (no temporales) y ejecutables en hardware informático para implementar los métodos mencionados anteriormente.

Antecedentes

Las redes de suministro eléctrico, también conocidas como “redes eléctricas”, se emplean para proporcionar conexiones eléctricas procedentes de uno o más generadores a uno o más consumidores. La energía consumida por el uno o más consumidores corresponde a una demanda de energía exigida al uno o más generadores a través de las redes. Con el fin de mantener el funcionamiento de las redes estable, es deseable que exista un equilibrio entre la energía generada por el uno o más generadores y la demanda de energía. Sin embargo, tanto la demanda de energía como la energía generada son susceptibles de fluctuar en función del tiempo. Por ejemplo, el uno o más generadores incluyen una o más fuentes de energía renovables, por ejemplo, energía mareomotriz y/o energía eólica para turbinas eólicas. Además, la demanda de energía incluye uno o más usuarios que conectan sus vehículos eléctricos al final de un día laboral para recargar sus baterías, por ejemplo, en una situación de vehículos híbridos de conexión.

Con el fin de abordar la situación mencionada anteriormente, se conoce emplear técnicas de redes eléctricas inteligentes, que implican, por ejemplo, controlar la demanda de energía para que coincida con la energía generada disponible, por ejemplo, encendiendo y/o apagando de manera selectiva diversas cargas eléctricas de usuario para mantener el equilibrio entre energía generada y demanda de energía. Además, se conoce emplear dispositivos de almacenamiento de energía acoplados a la red de suministro eléctrico tanto para absorber energía cuando existe un exceso de energía generada, como también para liberar energía cuando la energía generada por el uno o más generadores no es suficiente para satisfacer la demanda de energía. Cuando los dispositivos de almacenamiento de energía son acumuladores, por ejemplo, acoplados a las redes de suministro eléctrico por medio de la interconexión de convertidores de conmutación electrónicos, existe un problema con el ruido de red de suministro eléctrico, por ejemplo, con respecto a su frecuencia síncrona alterna de funcionamiento, en concreto nominalmente 60 Hz para los EE.UU, y nominalmente 50 Hz para Europa. Cuando el uno o más acumuladores se cargan o descargan basándose en la frecuencia de funcionamiento síncrona de la red de suministro eléctrico, que puede desviarse de la frecuencia nominal dependiendo del equilibrio instantáneo de la red de suministro eléctrico, mantener un estado de batería satisfactorio, concretamente el estado de carga o descarga (SOC), puede ser un problema, especialmente cuando existe el ruido eléctrico mencionado anteriormente considerable presente en la redes de suministro eléctrico ya que la demanda de energía fluctúa en función del tiempo y/o la energía generada fluctúa en función del tiempo.

En el RU, National Grid mantiene una regulación de frecuencia contratando servicios de regulación de frecuencia de proveedores. Los servicios prestados están relacionados con la variación de energía suministrada en función de la frecuencia de red eléctrica. Los servicios son bidireccionales, porque los proveedores pueden proporcionar tanto una alta respuesta, concretamente un consumo de energía neta, como una respuesta baja, concretamente una generación de energía neta. Los generadores proporcionan energía de respuesta, en la que la energía proporcionada varía con la frecuencia, con una característica de caída definida; esto es una respuesta normal. Existe una característica asociada que proporciona una relación lineal entre frecuencia de red eléctrica y energía distribuida, de manera que en el RU, un generador consume una energía de respuesta completa a 50,5 Hz y distribuye una energía de respuesta completa a 49,5 Hz. Esto puede representarse mediante la ecuación 1 (Ec. 1) dentro de un intervalo de frecuencias de red eléctrica (f) definidas por 49,5 Hz < f < 50,5 Hz:

$$P_{\text{respuesta}}(f) = -\frac{(f-50 \text{ Hz})}{0,5 \text{ Hz}} \cdot \text{Energía_completa}$$

Ec. 1

El almacenamiento de energía de batería puede proporcionar un servicio de respuesta de frecuencia. Un almacenamiento de energía de batería dado puede proporcionar tanto respuestas altas como respuestas bajas. Sin embargo, el almacenamiento de energía de batería dado solamente puede funcionar dentro de límites de almacenamiento de energía definidos. Por medio de la modificación de una característica de respuesta en función del estado de carga (SOC) del almacenamiento de energía de batería dado, puede usarse una batería más pequeña para proporcionar una respuesta útil.

En una publicación técnica "SVC Light® with Energy Storage for frequency regulation" (autores: Holmberg, Lahtinen, McDowall y Larsson) (IEEE 2010), se describe un aparato para controlar energía reactiva y activa en un punto de conexión a una red de energía eléctrica. El aparato incluye un bucle de control de estado de carga (SOC) para mantener un nivel de SOC promedio de una disposición de batería en aproximadamente el 50%. El bucle de control puede hacerse funcionar para cargar o descargar la disposición de batería cuando el aparato está funcionando dentro de su zona muerta.

La técnica anterior se refleja mediante el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 8.

Sumario

La presente divulgación busca proporcionar un aparato mejorado para corregir o gestionar energía almacenada, por ejemplo, cuando se proporciona un servicio de respuesta de frecuencia a redes de energía eléctrica.

Además, la presente divulgación busca proporcionar un método mejorado de corrección o gestión de energía almacenada, por ejemplo, cuando se proporciona un servicio de respuesta de frecuencia a redes de energía eléctrica.

Según un primer aspecto, se proporciona un aparato para corregir la energía neta cuando se proporciona un servicio de equilibrado de carga a una red de suministro de energía eléctrica, en el que el servicio de equilibrado de carga incluye uno o más dispositivos de almacenamiento de energía que se cargan y/o descargan a partir de energía suministrada de y/o a la red de suministro de energía eléctrica, respectivamente, caracterizado porque el aparato asociado con el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía puede hacerse funcionar para aplicar una polarización en forma de una energía de respuesta modificada frente a una característica de frecuencia a excursiones altas y/o excursiones bajas del servicio de equilibrado de carga para controlar un estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, en el que la polarización es una función de una frecuencia (f) de funcionamiento de la red de suministro de energía eléctrica y el estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal.

La invención es ventajosa porque la capacidad de almacenamiento de energía del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se emplea de manera más eficaz para proporcionar un servicio de respuesta.

Opcionalmente, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal, el aparato funciona en regiones que son ventajosas para la química de dispositivo de almacenamiento de batería del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía.

Opcionalmente, en el aparato, los dispositivos de almacenamiento de energía incluyen al menos uno de: baterías de plomo-ácido selladas, baterías a base de litio, dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia, supercondensadores, baterías de aire.

Opcionalmente, en el aparato, el servicio de equilibrado de carga proporciona una respuesta que se modifica en función del estado de carga (SOC) medido. Más opcionalmente, en el aparato, la respuesta es una función lineal por tramos de la frecuencia (f) de funcionamiento de la red de suministro de energía eléctrica. Más opcionalmente, en el aparato, la región de funcionamiento permitida en la respuesta de frecuencia en la que la polarización puede extenderse se define como funciones lineales por tramos de la frecuencia (f) de funcionamiento de la red de suministro de energía eléctrica.

Opcionalmente, en el aparato, se especifica un valor de polarización de excursión baja y alta máxima a la respuesta.

Según un segundo aspecto, se proporciona un método de uso de un aparato para corregir energía neta cuando se proporciona un servicio de equilibrado de carga a una red de suministro de energía eléctrica, en el que el servicio de equilibrado de carga incluye uno o más dispositivos de almacenamiento de energía que se cargan y/o descargan a partir de energía suministrada de y/o a la red de suministro de energía eléctrica, respectivamente, caracterizado porque el método incluye hacer funcionar el aparato asociado con el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía para aplicar una en forma de una energía de respuesta modificada frente a una característica de frecuencia a excursiones altas y/o excursiones bajas del servicio de equilibrado de carga para controlar un estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, en el que la polarización es una función de una frecuencia de funcionamiento de la red de suministro de energía eléctrica y el estado de carga (SOC) del uno o más

dispositivos de almacenamiento de energía, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal.

5 Opcionalmente, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal, el método incluye funcionar en regiones que son ventajosas para una química de dispositivo de almacenamiento de batería del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía.

10 Opcionalmente, el método incluye disponer que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía incluyan al menos uno de: baterías de plomo-ácido selladas, baterías a base de litio, dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia, supercondensadores, baterías de aire.

15 Opcionalmente, el método incluye disponer que el servicio de equilibrado de carga proporcione una respuesta que se modifica en función del estado de carga (SOC) medido. Más opcionalmente, en el método, la región de funcionamiento permitida en la respuesta de frecuencia en la que la polarización puede extenderse se define como funciones lineales por tramos de la frecuencia (f) de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica.

20 Opcionalmente, el método incluye hacer funcionar el servicio de equilibrado de carga para exhibir una zona muerta en su respuesta alrededor de una frecuencia (f) de funcionamiento nominal de la red de suministro de energía eléctrica.

Opcionalmente, el método incluye especificar un valor de polarización de excursión baja y alta máxima a la respuesta.

25 Según un tercer aspecto, se proporciona un producto de software que graba en medios de almacenamiento de datos legibles por máquina, caracterizado porque el producto de software puede ejecutarse en hardware informático para implementar un método del segundo aspecto.

30 Según un cuarto aspecto, se proporciona una red de suministro de energía eléctrica que incluye un aparato del primer aspecto, para proporcionar durante el funcionamiento un servicio de respuesta a la red de suministro de energía eléctrica.

Se apreciará que las características de la invención son susceptibles de combinarse en diversas combinaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

35 Descripción de los diagramas

Ahora se describirán realizaciones de la presente divulgación, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

40 la figura 1 es una ilustración de un sistema de suministro eléctrico que incluye una red de suministro eléctrico, uno o más generadores, uno o más consumidores de energía y un aparato de equilibrado de carga que incluye uno o más acumuladores para recibir y/o suministrar energía a la red de suministro eléctrico para ayudar a equilibrar la carga de la red de suministro eléctrico;

45 la figura 2 es una ilustración de una respuesta de equilibrado de carga procedente del aparato de equilibrado de carga en la figura 1; y

50 la figura 3 es una ilustración de una respuesta de equilibrado de carga alternativa procedente del aparato de equilibrado de carga en la figura 1.

55 La figura 4 es una ilustración de una energía de respuesta distribuida desde un generador habitual que se conecta a la red eléctrica y que proporciona una respuesta de frecuencia; en la ilustración, una característica 1 es, de manera ideal, una relación lineal, en la que una energía distribuida varía con la frecuencia; en el RU, se proporciona una frecuencia de red eléctrica nominal de 50.000 Hz y la característica ideal es una energía de respuesta de cero; en el ejemplo mostrado, se distribuyen 6 MW de respuesta baja a 49,5 Hz y se distribuyen 6 MW de respuesta alta a 50,5 Hz;

60 la figura 5 es una ilustración de una variación de frecuencia de red eléctrica en función del tiempo 2, durante un periodo de 100 días, comenzando concretamente el 17 de junio de 2013; un historial 3 de frecuencia es una parte ampliada de la característica 1, sobre una escala magnificada de 6 horas;

65 la figura 6 es un histograma de la energía de respuesta distribuida por un generador ideal con la característica 1 de frecuencia, cuando se somete al historial de frecuencia, 2; el histograma tiene un eje y que representa una escala logarítmica, y en total existen 0,57 millones de puntos de datos que corresponden a una resolución de 15 segundos;

la figura 7 es una ilustración de un estado de carga (SOC) de un acumulador con una capacidad de almacenamiento

de 5,5 MWh, cuando se proporciona la energía de respuesta definida por la característica 1, con respecto a la frecuencia de red eléctrica, 2; la batería comienza desde un SOC que está nominalmente el 50% de su capacidad; en una situación modelada de este tipo, se apreciará que la capacidad de la batería se excede con un SOC que oscila desde el -160% hasta el 149%; de manera más práctica, puede usarse potencialmente una batería de 18 MWh sin exceder su intervalo de SOC completo; sin embargo, esta batería de capacidad mayor será más de tres veces más cara en contraposición con otras soluciones descritas en la divulgación;

la figura 8 es una ilustración de una función de polarización de SOC, 6, cuya característica se establece mediante tres constantes k_1 , k_2 y k_3 ;

la figura 9 es una ilustración de varias energías de respuesta modificadas en función de las características de frecuencia, 7, 8, 9, 10 y 11 que se aplican en función de la función de polarización de SOC, 6;

la figura 10 es una ilustración del estado de carga (SOC) de batería para una batería de 5,5 MWh, cuando el historial de frecuencia, 2, se aplica a características de respuesta modificadas seleccionadas basándose en el estado de carga de batería actual; la variación de estado de carga se mejora sustancialmente, y un sistema de respuesta asociado puede funcionar con una batería de 5,5 MWh, al tiempo que retiene suficiente almacenamiento de energía para responder a una condición de falla de red eléctrica potencial, tal como un fallo de generador, que puede provocar que la frecuencia de red eléctrica caiga o aumente potencialmente, requiriendo una distribución completa de energía de respuesta durante la condición de falla;

la figura 11 es un histograma 13 de energía de respuesta distribuida para las características de respuesta modificadas polarizadas; se apreciará que la energía de respuesta total es sustancialmente la misma, concretamente una característica ventajosa; y

la figura 12 es un histograma, alternativamente una gráfica de función de distribución de probabilidad, del estado de carga de batería que se experimenta cuando se aplica el mismo historial de frecuencia de red eléctrica, 2, a las características de respuesta modificadas polarizadas, concretamente tal como se ilustra en un histograma 14, cuando se compara con la característica de respuesta de generador normal tal como se ilustra en un histograma 15; se demuestra de manera clara el intervalo de estado de carga, y por tanto, el tamaño de batería sumamente reducidos en este caso.

En los diagramas adjuntos, se emplea un número subrayado para representar un elemento sobre el que se coloca el número subrayado o un elemento al que es adyacente el número subrayado. Un número no subrayado se refiere a un elemento identificado por una línea que une el número no subrayado al elemento. Cuando un número no está subrayado y está acompañado por una flecha asociada, el número no subrayado se usa para identificar un elemento general al que apunta la flecha.

Descripción de realizaciones de la divulgación

En general, con referencia a la figura 1, un sistema de suministro eléctrico, indicado generalmente por 18, incluye uno o más generadores 20 de energía, una red 30 de suministro eléctrico, y uno o más consumidores 40. El uno o más generadores 20 de energía incluyen, por ejemplo, uno o más de: centrales energéticas alimentadas por carbón, turbinas eólicas, generadores de energía geotérmica, células solares, generadores de turbina de gas, central energética nuclear, central de generación de energía mareomotriz, generadores de energía maremotérmica. El uno o más consumidores 40 incluyen fábricas, hospitales, colegios, instalaciones domésticas, sistemas de transporte, pero no se limitan a los mismos. La red 30 de suministro eléctrico incluye pilares de puentes grúa, cables a tierra, estaciones de conmutación, transformadores y similares.

Es una práctica convencional hacer funcionar el sistema 18 de suministro eléctrico con una forma de electricidad de corriente alterna (c.a.), que habitualmente se encuentra a una frecuencia f_0 nominal de funcionamiento de 60 Hz para EE.UU, y 50 Hz para Europa. Durante el funcionamiento, un operador del sistema 18 de suministro eléctrico intenta hacer coincidir, en todo momento, la energía generada por el uno o más generadores 20 con la demanda de energía mostrada por el uno o más consumidores 40. En la práctica, tal coincidencia no es perfecta, de manera que la frecuencia f_0 nominal de funcionamiento mencionada anteriormente no se mantiene de manera perfecta, por ejemplo, tal como se expresa por la ecuación 1 (Ec. 1):

$$\sum_0^{\text{día}} \int_0^{\text{día}} (\text{excursión_alta})df - \sum_0^{\text{día}} \int_0^{\text{día}} (\text{excursión_baja})df \neq 0 \tag{Ec. 1}$$

en la que

excursión_alta = excursiones de frecuencia por encima de la frecuencia f_0 nominal; y

excursión_baja = excursiones de frecuencia por debajo de la frecuencia f_0 nominal.

5 Cuando el sistema 18 de suministro eléctrico se implementa según la presente divulgación, un servicio 50 de
equilibrado de carga se acopla a la red 30 de suministro eléctrico, en la que el servicio 50 de equilibrado de carga
incluye uno o más acumuladores recargables, por ejemplo, baterías de plomo-ácido selladas (SLA), aunque tipos de
batería tales como baterías a base de litio se emplean alternativamente. Cuando el uno o más consumidores 40
consume más energía de la que el uno o más generadores 20 pueden generar durante un periodo corto, el servicio
10 50 de equilibrado de carga puede hacerse funcionar para suministrar energía derivada del uno o más acumuladores
a la red 30 de suministro eléctrico. Además, en periodos en los que el uno o más generadores están generando más
energía que la requerida por el uno o más consumidores, el servicio de equilibrado de carga puede hacerse
funcionar para recargar su uno o más acumuladores de nuevo.

15 Con el fin de mantener el uno o más acumuladores en un estado de carga (SOC) satisfactorio, no deben ni
sobrecargarse ni descargarse profundamente. La sobrecarga provoca que un electrolito dentro del uno o más
acumuladores se electrolice en componentes gaseosos, mientras que una descarga profunda puede provocar
reacciones químicas de precipitación irreversibles dentro del uno o más acumuladores.

20 Un circuito de carga del uno o más acumuladores, que incluye por ejemplo, uno o más dispositivos informáticos,
implementa decisiones con respecto a la descarga, concretamente para suministrar energía a la red 30 de
suministro eléctrico, o recarga, concretamente para absorber energía de la red 30 de suministro eléctrico, en función
de una frecuencia f instantánea del sistema 18. La frecuencia f instantánea, tal como se define en la ecuación 1 (Ec.
1) debe promediarse con respecto a la frecuencia f_0 nominal, pero en la práctica no sucede habitualmente. Además,
25 la frecuencia f instantánea es, potencialmente, una señal ruidosa ya que se encienden y apagan tipos de cargas
complejos en el uno o más consumidores 40. Por tanto, se ha encontrado que el control de la descarga y la carga
del uno o más acumuladores basándose en la frecuencia f instantánea no es fiable, y puede dar como resultado una
degradación prematura del uno o más acumuladores cuando durante el funcionamiento se proporciona un servicio
de respuesta mencionado anteriormente.

30 Con el fin de abordar problemas de descarga y carga no fiables del uno o más dispositivos de almacenamiento, por
ejemplo, acumuladores de plomo-ácido sellados, se emplea de manera beneficiosa una histéresis en un régimen de
descarga y recarga empleado en el servicio 50 de equilibrado de carga tal como se ilustra en la figura 2, en el que
una zona muerta corresponde a una histéresis aplicada. En la figura 2, un eje 100 de abscisas denota una
frecuencia f de funcionamiento de red eléctrica instantánea, en la que 50,0 Hz corresponde a la frecuencia f_0 de red
35 eléctrica nominal. Un eje 110 de ordenadas denota operaciones de carga y descarga desde el uno o más
dispositivos de almacenamiento de energía. Opcionalmente, las zonas muertas para el uno o más dispositivos de
almacenamiento de energía se distribuyen de manera arbitraria dentro del uno o más dispositivos de
almacenamiento de energía; dicho de otro modo, el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se
subdividen en una pluralidad de grupos, en los que cada grupo se controla para tener una histéresis correspondiente
40 y una zona muerta asociada para la carga y la descarga. De manera beneficiosa, las zonas muertas se distribuyen
de manera arbitraria, por ejemplo, en función del tiempo. Por ejemplo, en la figura 3, se muestran dos zonas muertas
diferentes empleadas al mismo tiempo una con respecto a otra para el uno o más dispositivos de almacenamiento
de energía que proporcionan respuestas de carga y descarga tal como denotan 120A, 120B. Las zonas muertas se
45 aplican de modo que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía no se sobrecarguen o se descarguen
excesivamente, de modo que el servicio 50 de equilibrado de carga ayuda a mantener la frecuencia f (de
funcionamiento síncrona) instantánea nominalmente en la frecuencia f_0 nominal, y que el ruido en la frecuencia f (de
funcionamiento síncrona) instantánea no provoque que el servicio 50 de equilibrado de carga se conmute de manera
demasiado frecuente entre descarga y recarga del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, lo que de
50 otro modo podría provocar potencialmente ciclos excesivos y la reducción de la vida útil de funcionamiento del uno o
más dispositivos de almacenamiento de energía, por ejemplo, el uno o más acumuladores de plomo-ácido sellados
mencionados anteriormente.

Aunque se hace referencia a uno o más acumuladores en el servicio 50 de equilibrado de carga, se apreciará que
55 otros tipos de dispositivos de almacenamiento de energía pueden aplicarse de manera adicional o alternativa en el
mismo, por ejemplo, almacenamiento de energía de inercia (volantes a vacío), baterías recargables de litio, baterías
de aire-óxido de zinc, supercondensadores y similares.

Una solución para proporcionar el servicio 50 de equilibrado de carga es polarizar uno de excursiones pico
60 experimentadas por el servicio 50 de equilibrado de carga, por ejemplo, una excursión_alta y/o una excursión_baja
según sea apropiado. Entonces, posteriormente es posible ejecutar una "recuperación" sobre el estado de carga
(SOC) del uno o más acumuladores polarizando una respuesta de pico proporcionada por el servicio 50 de
equilibrado de carga. Tal recuperación puede implementarse: (a) como un promedio móvil (concretamente una
recuperación continua); o (b) definiendo, por medio de franjas horarias, por ejemplo, de 00:00 hrs a 04:00 hrs,
cuándo se implementa la recuperación; o (c) negociando con un operador de la red 30 de suministro eléctrico, por
65 ejemplo, National Grid (NG), con respecto a una nueva frecuencia de pico de respuesta.

De manera beneficiosa, se aplican realizaciones de la presente divulgación a un sistema de almacenamiento de energía conectado a red eléctrica que comprende una batería grande construida a partir de miles de células individuales junto con uno o más sistemas de gestión de batería activos, conectados tanto a un rectificador conectado a red eléctrica como a un sistema de inversor que proporcionan la carga y descarga de la batería de almacenamiento. Un dispositivo de medición de frecuencia de red eléctrica proporciona mediciones de frecuencia instantánea de red eléctrica al hardware informático del uno o más sistemas de gestión de batería activos. El uno o más sistemas de gestión de batería proporcionan una medición de estado de carga (SOC) de almacenamiento de batería adicional al propio hardware informático. El hardware informático puede hacerse funcionar para controlar el rectificador y también para controlar la energía de respuesta tal como se requiera basándose en las mediciones del estado de carga (SOC) de batería actual y la frecuencia f instantánea de red eléctrica.

Ahora se describirá una descripción detallada de un método de funcionamiento del hardware informático mencionado anteriormente con referencia a las figuras 4 a 12, con referencia a ecuaciones matemáticas subyacentes que definen cálculos ejecutados en el hardware informático.

Una función de polarización de estado de carga (SOC) se calcula a partir de la medición del estado de carga (SOC) de batería actual. Existen tres constantes definitorias que pueden variarse para proporcionar diferentes características de respuesta y estas se ilustran en la figura 8. Una constante k_1 define una banda de estados de carga (SOC) en los que se aplica la característica de respuesta de generador normal. Una constante k_2 define una banda sobre la que se aplica una característica de polarización variable. Una constante k_3 define una característica de polarización de estado de carga (SOC) máxima.

En esta realización, a característica lineal por tramos centrada en un estado de carga nominal SOC_{nom} objetivo puede definirse por una relación en la ecuación 2 (Ec. 2):

$$SOC_{factor}(x) := - \text{si}[x < p_1, -k_3, \text{si}[x < p_2, -k_4 \cdot (-x + p_2), \text{si}[x < p_3, 0, \text{si}[x < p_4, k_4 \cdot (x - p_3), k_3]]]] \quad \text{Ec. 2}$$

en la que puntos de inflexión son de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} p_1 &:= SOC_{nom} - k_2 & p_2 &:= SOC_{nom} - k_1 \\ p_3 &:= SOC_{nom} + k_1 & p_4 &:= SOC_{nom} + k_2 \end{aligned}$$

La relación en la ecuación 2 establece un factor de polarización de SOC que depende del estado de carga (SOC) medido.

La energía de respuesta modificada frente a la característica de frecuencia de red eléctrica se calcula usando el estado de carga (SOC) medido y la frecuencia de red eléctrica instantánea medida, f . De nuevo, la característica es lineal por tramos y posee potencialmente dos gradientes. Los gradientes cambian en dos puntos de frecuencia que están polarizados simétricamente de la frecuencia nominal, f_0 . En el RU, se requiere que National Grid, concretamente un operador de red de suministro eléctrico para el RU, mantenga la frecuencia f_0 de red eléctrica normal dentro de una banda $49,8 \text{ Hz} < f < 50,2 \text{ Hz}$. Cualquier excursión fuera de esta banda se considera una operación anómala. Una característica de funcionamiento de este tipo permite que el hardware informático conmute el gradiente sabiendo que el funcionamiento fuera de una banda definida es anómalo y una condición de falla.

Los gradientes se eligen de modo que, si el estado de carga (SOC) es menor que el deseado (es decir fuera de la región definida por la constante k_1), se selecciona una característica de respuesta modificada. La característica 8, se selecciona al 33% de SOC y, de manera beneficiosa, se establece una característica de polarización máxima, 9 (establecida por la constante k_3), por el SOC al 30%. Se apreciará que para un SOC menor de un intervalo menor establecido por la constante k_1 , la característica es como un generador normal, que se transforma gradualmente a medida que el SOC se desvía a características de "corrección" más agresivas. Además, se apreciará que, en un estado de carga (SOC) bajo, la característica de polarización modificada provoca que el servicio 50 de equilibrado de carga emita menos respuesta de descarga (frecuencia baja) dentro del intervalo de frecuencia de red eléctrica de funcionamiento normal, y más respuesta de carga (frecuencia alta). De manera similar, si el estado de carga (SOC) es mayor que el nominal, la característica de respuesta provocará que el estado de carga (SOC) de batería vuelva al nominal. Reduciendo o aumentando de manera apropiada la energía dentro y fuera de la batería en la banda de frecuencia de funcionamiento normal en función del estado de carga medido, el hardware informático provocará que el estado de carga (SOC) de batería vuelva al SOC nominal. La simetría de las características significa que la totalidad de la energía/potencia de respuesta distribuida promediada durante prolongados periodos de tiempo es igual.

En esta realización, la energía de respuesta distribuida en función del estado de carga (SOC) medido actual y la frecuencia f de red eléctrica instantánea se definen por la ecuación 3 (Ec. 3):

$$P_{res2}(s, f) := \text{si}[f < (p_1), 1, \text{si}[p_2, 1 - m_2(s).(f - p_1), \text{si}[f < p_3, -m_1(s).(f - p_3), \\ \text{Si}[f < p_4, 0, \text{if}[f < p_5, -m_1(1 - s).(f - p_4), \\ \text{Si}[f < p_6, m_2(1 - s).(p_6 - f) - 1, -1]]]]]]$$

Ec. 3

en la que puntos de inflexión se definen por:

- 5 p_1 : = completo_bajo p_2 : = frec_nom – Polarización
 p_3 : = frec_nom – zonamuerta p_4 : = frec_nom + zonamuerta
 p_5 : = frec_nom + Polarización p_6 : = completo_alto

10 y las características de banda de frecuencia completo_bajo, completo_alto, frec_nom y polarización son características de frecuencia de red eléctrica. Para el funcionamiento en el RU, tal como se mencionó anteriormente, estos puntos de inflexión se establecen para aportar puntos de inflexión de la siguiente manera:

- 15 p_1 = 49,5 Hz p_2 = 49,82 Hz p_3 = 50,0 Hz
 p_4 = 50,0 Hz p_5 = 50,18 Hz p_6 = 50,5 Hz

Una zona muerta opcional, no mostrada en la figura 9, es inherente a la ecuación 3 (Ec. 3) definida anteriormente. Esta zona muerta define una región en la que se distribuye una energía de respuesta cero, y es un método de evitar que la totalidad del servicio 50 de respuesta conmute de carga a descarga de manera rápida y continua, si la frecuencia de red eléctrica y el error de medición permanecieran alrededor de 50.000 Hz. Alternativamente, la histéresis se emplea opcionalmente.

20 Durante el funcionamiento del sistema, las constantes k_1 , k_2 y k_3 se establecen para mantener el estado de carga (SOC) dentro de una banda limitada y definida alrededor del SOC nominal. Esto proporciona un margen de energía para proporcionar una respuesta a fallas de red eléctrica de energía que tienen características conocidas y definidas.
 25 En el RU, se requiere que un operador de sistema de red eléctrica de energía tenga prevista una tolerancia de falla individual, que, para situaciones de frecuencia baja, es la pérdida de la mayor central de generación (por ejemplo, la central energética nuclear Sizewell (RU) en el momento de la presentación de la presente divulgación) y esto provoca que potencialmente se produzca una excursión de frecuencia de red eléctrica de aproximadamente 49,2 Hz en 10 segundos. Si la energía de respuesta de frecuencia baja suministrada a la red 30 de energía eléctrica, concretamente red, eléctrica no restaura el equilibrio de energía neta entre cargas de consumo y generación, entonces la frecuencia f de red eléctrica continúa reduciéndose durante unos segundos más, hasta que la interrupción de carga obligatoria corta el suministro a subconjuntos definidos de consumidores 40, reduciendo la carga y restaurando el equilibrio de energía. De manera similar, las peores situaciones de frecuencia alta provocan que la frecuencia f de red eléctrica aumente, lo que requiere que los sistemas de almacenamiento de energía de
 35 batería consuman y carguen su batería.

De manera beneficiosa, el hardware informático mencionado anteriormente tiene una pluralidad de características deseables tal como se ilustra y describe. En primer lugar, el estado de carga (SOC) se gestiona en una banda más estrecha, reduciendo el tamaño de batería requerido, independientemente de un historial previo de la frecuencia f de red eléctrica. El SOC inherente se refiere a que la totalidad de relaciones de frecuencia de red eléctrica está rota. El promedio a largo plazo de la energía de respuesta distribuida es idéntico al del generador. Además, la frecuencia promedio a largo plazo frente a una característica de energía de respuesta se mantiene. La energía de respuesta completa siempre se distribuye durante las peores situaciones. En caso de que un operador de un sistema dado gestionara el error de reloj de tiempo síncrono de red eléctrica en una banda definida, entonces la constante k_1 y la batería pueden ajustarse para proporcionar una respuesta normal no polarizada tal como se esperaría de un generador.

Además, el sistema descrito anteriormente es lineal y determinista, y no depende del promedio de la frecuencia f de red eléctrica o del uso del historial de frecuencia f de red eléctrica, o del uso de poblaciones de dispositivos. De manera beneficiosa, el sistema se modela mediante sistemas lineales de retroalimentación convencionales, por ejemplo, para verificar su fiabilidad de funcionamiento en condiciones de red eléctrica adversas.

El estado de carga nominal, y la banda de funcionamiento para los estados de carga se eligen opcionalmente de manera deliberada para funcionar en regiones ventajosas para la química de almacenamiento de batería del dispositivo de almacenamiento de energía mediante una selección apropiada de las características definitorias, tal como se mencionó anteriormente.

Aunque la realización descrita anteriormente usa una función lineal por tramos para definir la función de polarización de estado de carga y la característica de energía de respuesta modificada, es posible usar casi cualquier función matemática que tenga las características importantes identificadas que permitan que se aplique una polarización de corrección en el intervalo de frecuencia de funcionamiento de red eléctrica normal, al tiempo que permite una distribución de energía de respuesta completa. Además, al mitigar el requisito de igual distribución de energía en

intervalos de frecuencia definidos, pueden obtenerse menos características deseables pero funcionales.

De manera similar, se aplican opcionalmente correcciones no simétricas a los algoritmos de polarización para corregir pérdidas desiguales en los circuitos de carga / descarga lo que también puede provocar una polarización de SOC, aunque el sistema descrito mencionado anteriormente corregirá los mismos automáticamente. Además, las características de gestión de estado de carga se aplican opcionalmente a subunidades individuales dentro del almacenamiento de batería. De manera beneficiosa, esto permite que partes de la batería se hagan funcionar en estados de carga definidos para gestionar el equilibrado de batería / célula.

Aunque las realizaciones descritas son altamente ventajosas para el almacenamiento de energía de batería proporcionando respuesta de frecuencia, también pueden aplicarse de igual modo a cualquier dispositivo de almacenamiento de energía, independientemente de que esté basado en almacenamiento de energía hidroeléctrica, almacenamiento de energía de aire comprimido, almacenamiento de energía de aire licuado, almacenamiento de energía de volante mecánico, almacenamiento de energía de supercondensador, poblaciones de dispositivos de carga u otros conocidos en la técnica.

Dentro de un grupo de baterías empleadas para implementar el servicio de respuesta, tal como se describió anteriormente, las baterías se hacen funcionar opcionalmente en estados de descarga diferentes unos con respecto a otros, dentro de límites de estado de carga bajos y altos. Alternativamente, las baterías se hacen funcionar opcionalmente en estados de descarga similares unos con respecto a otros, dentro de límites de estado de carga bajos y altos. Opcionalmente, las tecnologías de batería empleadas incluyen baterías de titanato de litio y/o baterías de titanato de bario, que son adecuadas para energías inmediatas, concretamente de CV alta, durante periodos de tiempo cortos, pero con una vida útil larga, empleadas, por ejemplo, en combinación con baterías de plomo-ácido (por ejemplo, baterías de gel de plomo-ácido selladas de tipo SLA).

Ahora se describirán otras realizaciones de la divulgación.

Se introduce una función de polarización de estado de carga, definida por la ecuación 4 (Ec. 4):

$$SOC_{factor}(x) := -si[x < p_1, -k_3, si[x < p_2, -k_4 \cdot (-x + p_2), Si[x < p_3, 0, si[x < p_4, k_4 \cdot (x - p_3), k_3]]]] \quad Ec. 4$$

en la que x es el estado de carga (SOC), y una constante k₁ define una zona muerta en la que no se aplica ninguna corrección y la respuesta es normal, una constante k₂ define un límite superior en el que el factor SOC se limita, y una constante k₃ es el factor de modificación de limitación, por ejemplo:

las constantes...

$$k_1 := 5\% \quad k_2 := 15\% \quad k_3 := 20\% \quad SOC_{nom} := 50\%$$

que definen una función

$$k_4 := k_3 / (k_1 - k_2)$$

...diversos puntos en una función de respuesta

$$p_1 := SOC_{nom} - k_2 \quad p_2 := SOC_{nom} - k_1 \quad p_3 := SOC_{nom} + k_1 \\ p_4 := SOC_{nom} + k_2$$

El factor SOC es una función que varía de +k₃ a -k₃, dependiendo del estado de carga (SOC) de batería.

El factor SOC se usa para modificar la característica de respuesta, en el que las características de respuesta son una función lineal por tramos con cinco regiones y se define por la ecuación 5 (Ec. 5):

$$P_{res2}(s, f) := si[f < (p_1), 1, if [f < p_2, 1 - m_2(s) \cdot (f - p_1), si[f < p_3, -m_1(s) \cdot (f - p_3), si[f < p_4, 0, si[f < p_5, -m_1(s) \cdot (f - p_4), si[f < p_6, m_2(s) \cdot (p_6 - f) - 1, -1]]]]]] \quad Ec. 5$$

en la que los puntos de inflexión son de la siguiente manera:

$p_1 := \text{completo_bajo}$ $p_2 := \text{frec_nom} - \text{polarización}$ $p_3 := \text{frec_nom} - \text{zonamuerta}$
 $p_4 := \text{frec_nom} + \text{zonamuerta}$ $p_5 := \text{frec_nom} + \text{polarización}$
 $p_6 := \text{completo_alto}$

5 concretamente, por ejemplo,

$p_1 = 49,5 \text{ Hz}$ $p_2 = 49,82 \text{ Hz}$ $p_3 = 49,98 \text{ Hz}$
 $p_4 = 50,02 \text{ Hz}$ $p_5 = 50,18 \text{ Hz}$ $p_6 = 50,5 \text{ Hz}$

10 $P_f := \text{energía_completa}$

y los puntos y gradientes que definen la función de respuesta modificada son de manera que:

15 un gradiente de la primera parte se define por la ecuación 6 (Ec. 6):

$$m_1(\text{SOC}) = \frac{\text{NomAlta}(1 - \text{SOC}_{\text{factor}}(\text{SOC}))}{(\text{PolAlta} - \text{frec_nom_zona muerta})} \quad \text{Ec. 6}$$

20 en la que el factor SOC se usa para modificar las características de respuesta, y un gradiente de la segunda parte se define por la ecuación 7 (Ec. 7):

$$m_2(\text{SOC}) = \frac{1 - \text{NomAlta}(1 - \text{SOC}_{\text{factor}}(\text{SOC}))}{\text{Completo_alto_PolAlta}} \quad \text{Ec. 7}$$

25 Opcionalmente, un método alternativo modifica la respuesta aplicando la corrección a la medición de frecuencia de red eléctrica, en el que tanto la respuesta como la desviación de frecuencia de red eléctrica con respecto a la nominal son lineales y proporcionales.

30 Alternativamente, se aplica de manera opcional un filtro a la respuesta o frecuencia de red eléctrica, que reduce de manera eficaz el tiempo de frecuencia baja haciendo variar componentes de frecuencia de red, eléctrica de manera análoga a una técnica de acoplamiento de c.a. que evita que el estado de carga (SOC) disminuya de manera continua durante un periodo de tiempo.

35 El estado de carga (SOC) está relacionado directamente con el error de reloj síncrono, concretamente el tiempo medido en un reloj accionado por la frecuencia de red medirá la totalidad de la frecuencia de red eléctrica, que es tiempo. La mayor parte de operadores de redes eléctricas establecerán como objetivo un error de tiempo máximo, ya que en ocasiones los relojes usan redes para mantener el tiempo, pero este requisito se está relajando de manera creciente. En el RU, los datos de redes eléctricas reales presentados en de la figura 4 a la figura 12 establecen el error de tiempo pico en alrededor de 20 segundos.

40 Alternativamente, funciones de tipo diferencial aplicadas al historial de frecuencia, son una forma de filtro que tienen una respuesta cero a CC y un aumento de respuestas lineales a fluctuaciones más rápidas, y de manera beneficiosa se emplean en realizaciones de la divulgación descritas anteriormente.

45 Son posibles modificaciones a las realizaciones de la invención descritas anteriormente sin apartarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas. Expresiones tales como "que incluye", "que comprende", "que incorpora", "que consiste en", "tiene", "es" usadas para describir y reivindicar la presente invención están destinadas a tenerse en cuenta de manera no exclusiva, permitiendo concretamente que dispositivos, componentes o elementos que no se describen explícitamente también estén presentes. Las referencias al singular también deben considerarse como que se refieren al plural. Los numerales incluidos entre paréntesis en las
 50 reivindicaciones adjuntas están destinados a ayudar al entendimiento de las reivindicaciones y no deberán considerarse que limitan de manera alguna el objeto reivindicado por estas reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para corregir energía neta cuando se proporciona un servicio (50) de equilibrado de carga a una red (30) de suministro de energía eléctrica, en el que el servicio (50) de equilibrado de carga incluye uno o más dispositivos de almacenamiento de energía que se cargan y/o descargan a partir de energía suministrada de y/o a la red (30) de suministro de energía eléctrica, respectivamente, caracterizado porque el aparato asociado con el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía puede hacerse funcionar para aplicar una polarización en forma de una energía de respuesta modificada frente a una característica de frecuencia a excursiones altas y/o excursiones bajas del servicio (50) de equilibrado de carga para controlar un estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, en el que la polarización es una función de una frecuencia (f) de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica y el estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal.
2. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque el aparato, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal, funciona en regiones que son ventajosas para una química de dispositivo de almacenamiento de batería del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía.
3. Aparato según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque los dispositivos de almacenamiento de energía incluyen al menos uno de: baterías de plomo-ácido selladas, baterías a base de litio, dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia, supercondensadores, baterías de aire.
4. Aparato según la reivindicación 1, 2 ó 3, caracterizado porque el servicio (50) de equilibrado de carga proporciona una respuesta (7 a 11) que se modifica en función del estado de carga (SOC) medido.
5. Aparato según la reivindicación 4, caracterizado porque la respuesta (7 a 11) es una función lineal por tramos de la frecuencia (f) de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica.
6. Aparato según la reivindicación 5, caracterizado porque la región de funcionamiento permitida en respuesta (7 a 11) de frecuencia en la que la polarización puede extenderse se define como funciones lineales por tramos de la frecuencia (f) de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica.
7. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque se especifica un valor de polarización de excursión baja y alta máxima a la respuesta.
8. Método de uso de un aparato para corregir energía neta cuando se proporciona un servicio (50) de equilibrado de carga a una red (30) de suministro de energía eléctrica, en el que el servicio (50) de equilibrado de carga incluye uno o más dispositivos de almacenamiento de energía que se cargan y/o descargan a partir de energía suministrada de y/o a la red (30) de suministro de energía eléctrica, respectivamente, caracterizado porque el método incluye hacer funcionar el aparato asociado con el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía para aplicar una polarización en forma de una energía de respuesta modificada frente a una característica de frecuencia a excursiones altas y/o excursiones bajas del servicio (50) de equilibrado de carga para controlar un estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, en el que la polarización es una función de una frecuencia de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica y el estado de carga (SOC) del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal.
9. Método según la reivindicación 8, caracterizado porque el método incluye, para garantizar que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía se mantienen en una carga (S_{nom}) nominal, funcionar en regiones que son ventajosas para una química de dispositivo de almacenamiento de batería del uno o más dispositivos de almacenamiento de energía.
10. Método según la reivindicación 8 ó 9, caracterizado porque el método incluye disponer que el uno o más dispositivos de almacenamiento de energía incluyan al menos uno de: baterías de plomo-ácido selladas, baterías a base de litio, dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia, supercondensadores, baterías de aire.
11. Método según la reivindicación 8, 9 ó 10, caracterizado porque el método incluye disponer que el servicio (50) de equilibrado de carga proporcione una respuesta (7 a 11) que se modifica en función del estado de carga (SOC) medido.
12. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque la región de funcionamiento permitida en respuesta (7 a 11) de frecuencia en la que la polarización puede extenderse se define como funciones

lineales por tramos de la frecuencia (f) de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica.

- 5 13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado porque el método incluye hacer funcionar el servicio (50) de equilibrado de carga para mostrar una zona muerta en su respuesta alrededor de una frecuencia (f) nominal de funcionamiento de la red (30) de suministro de energía eléctrica.
14. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, caracterizado porque el método incluye especificar un valor de polarización de excursión baja y alta máxima a la respuesta.
- 10 15. Producto de software que graba en medios de almacenamiento de datos legibles por máquina, caracterizado porque el producto de software puede ejecutarse en hardware informático para implementar un método según la reivindicación 8.
- 15 16. Red (30) de suministro de energía eléctrica que incluye un aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, para proporcionar durante el funcionamiento un servicio de respuesta a la red (30) de suministro de energía eléctrica.

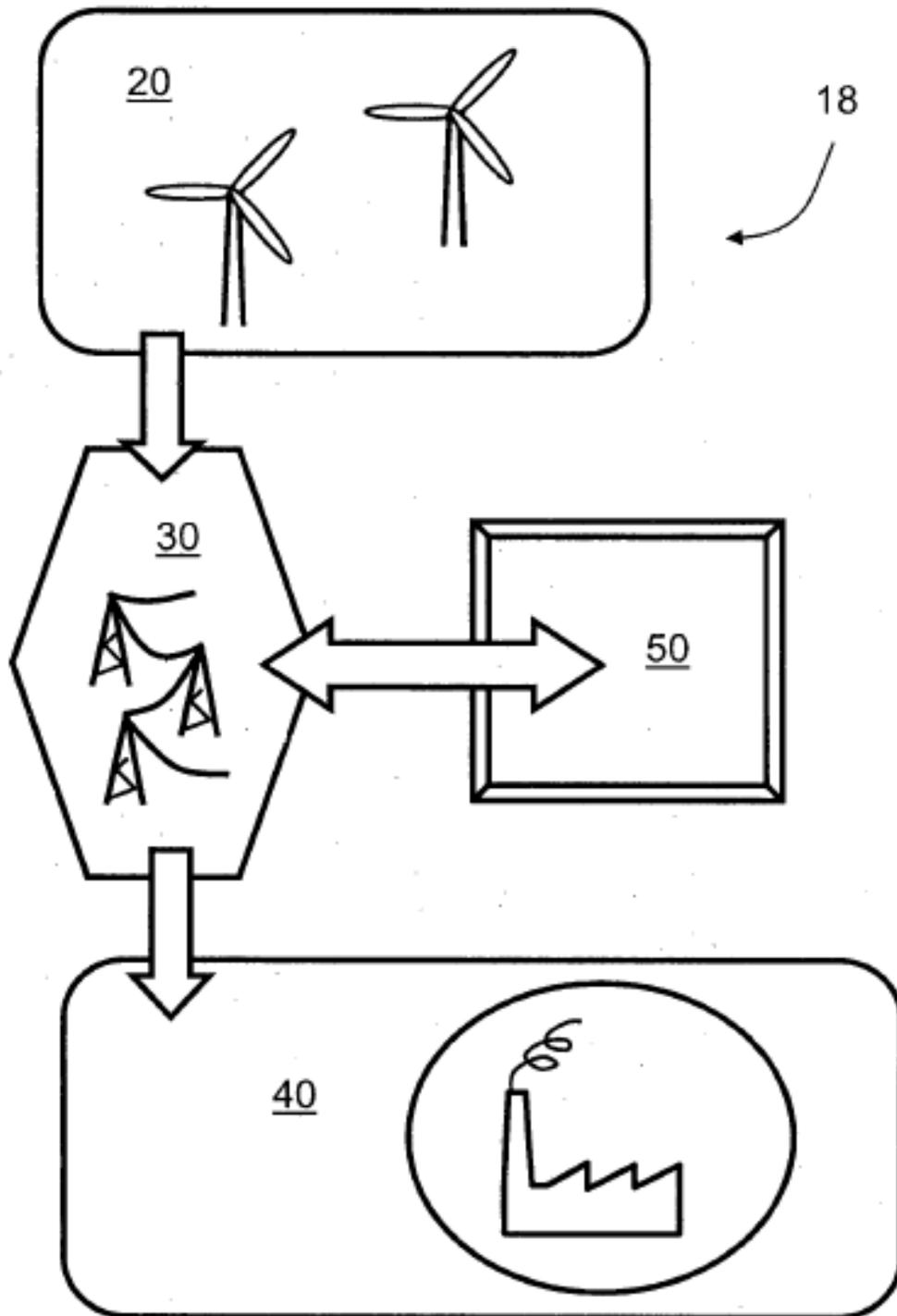


FIG. 1

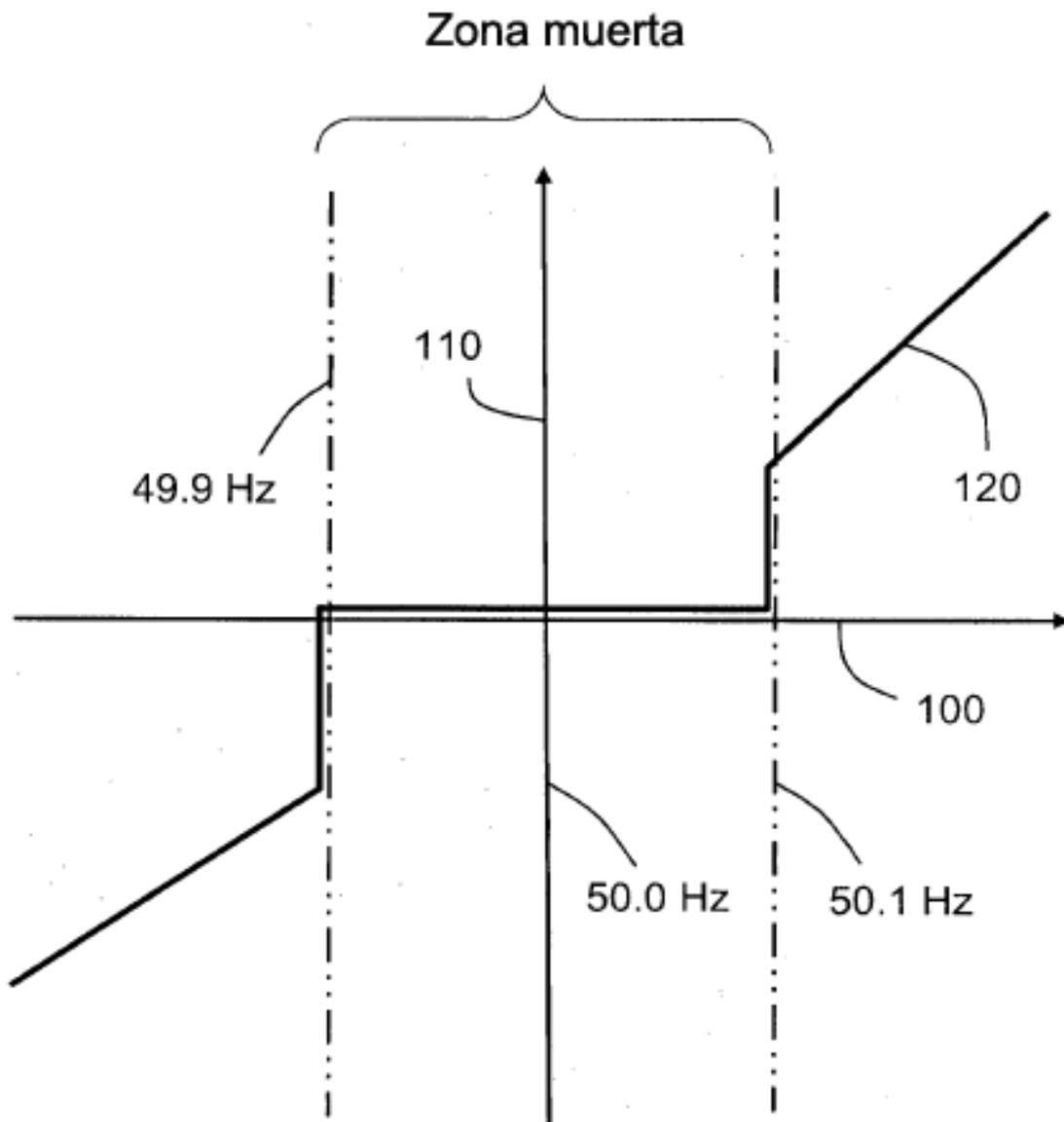


FIG. 2

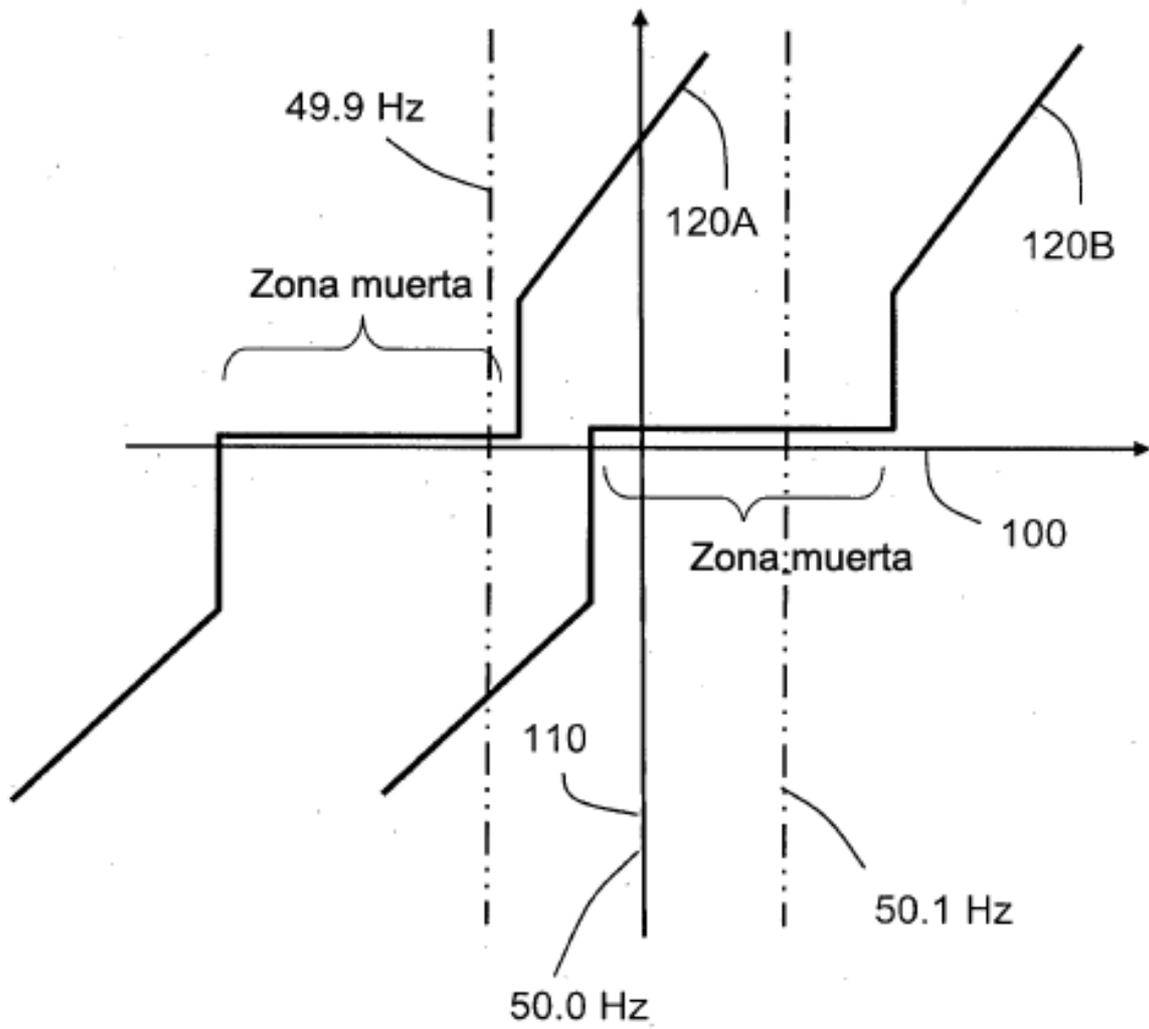


FIG. 3

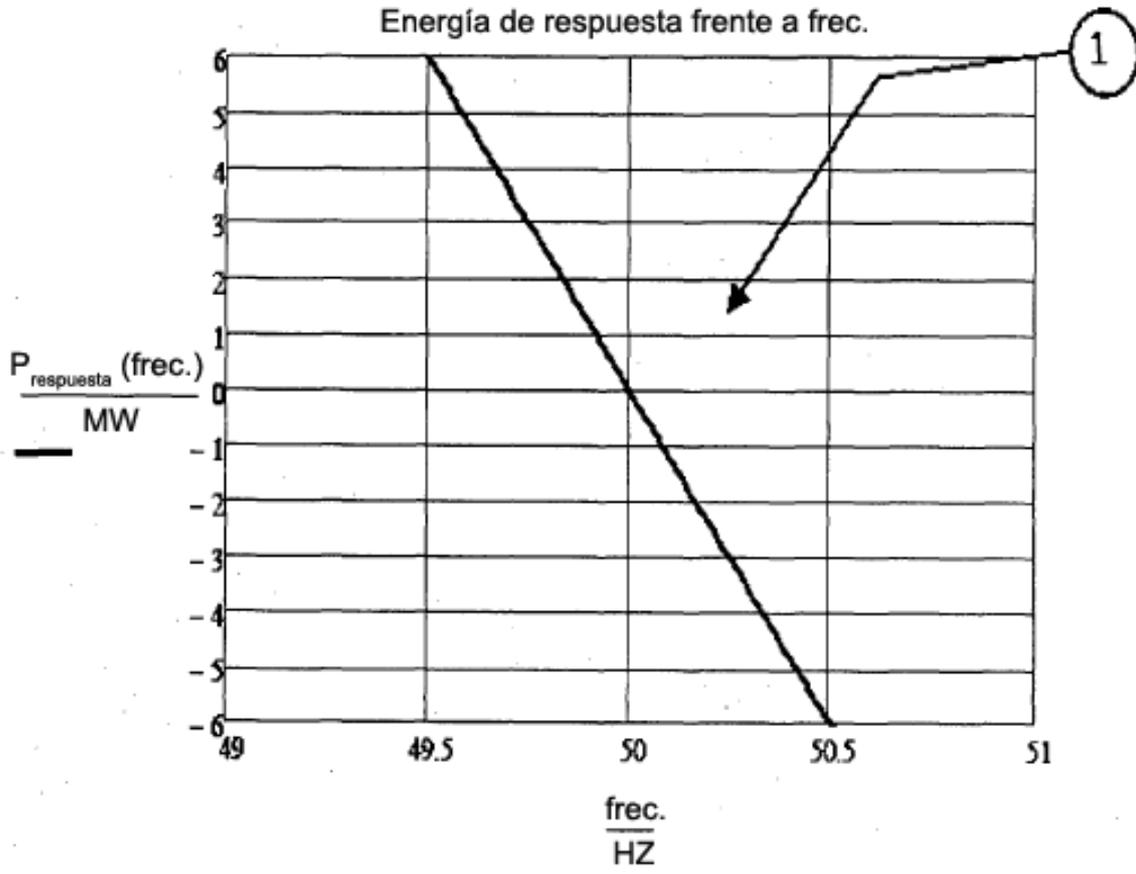


FIG. 4

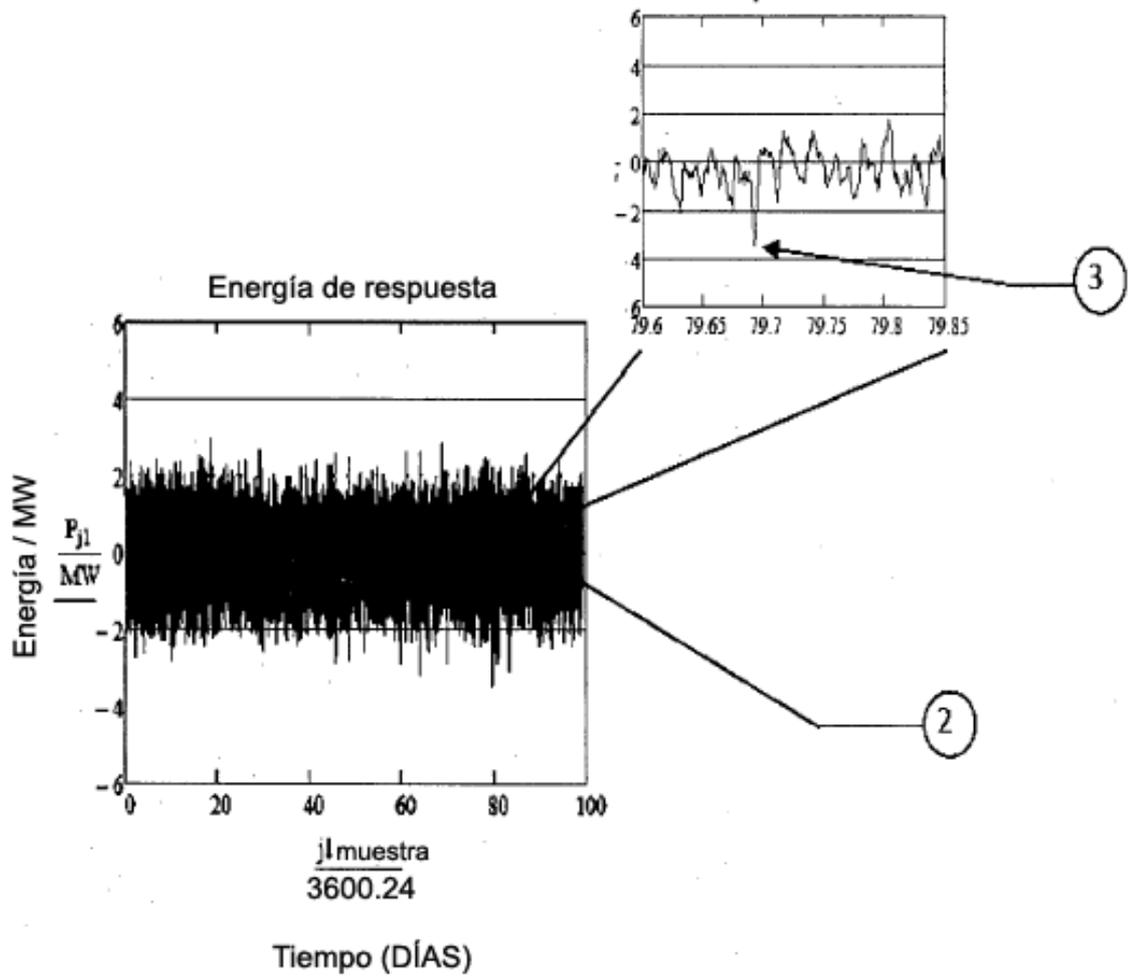


FIG. 5

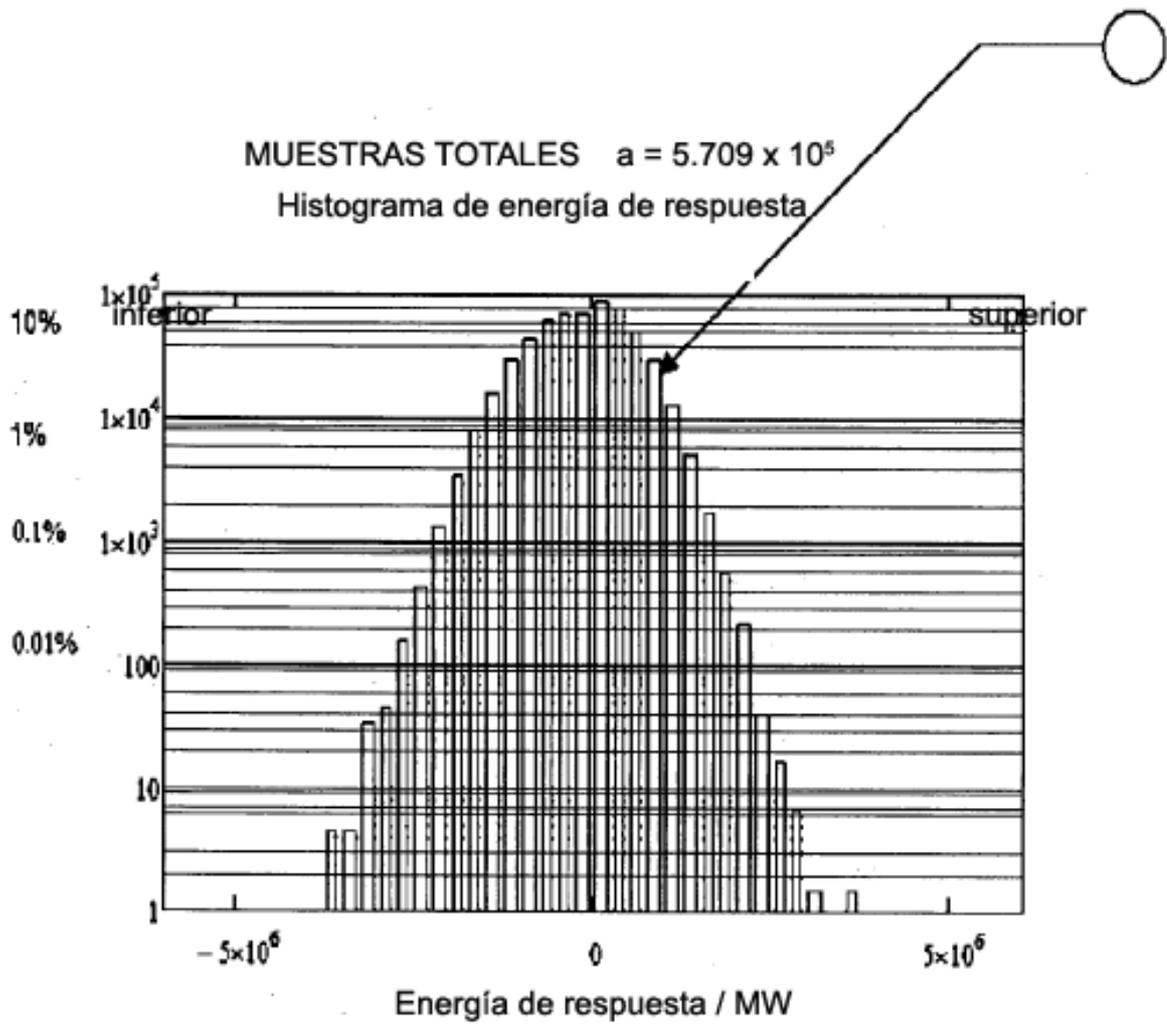


FIG. 6

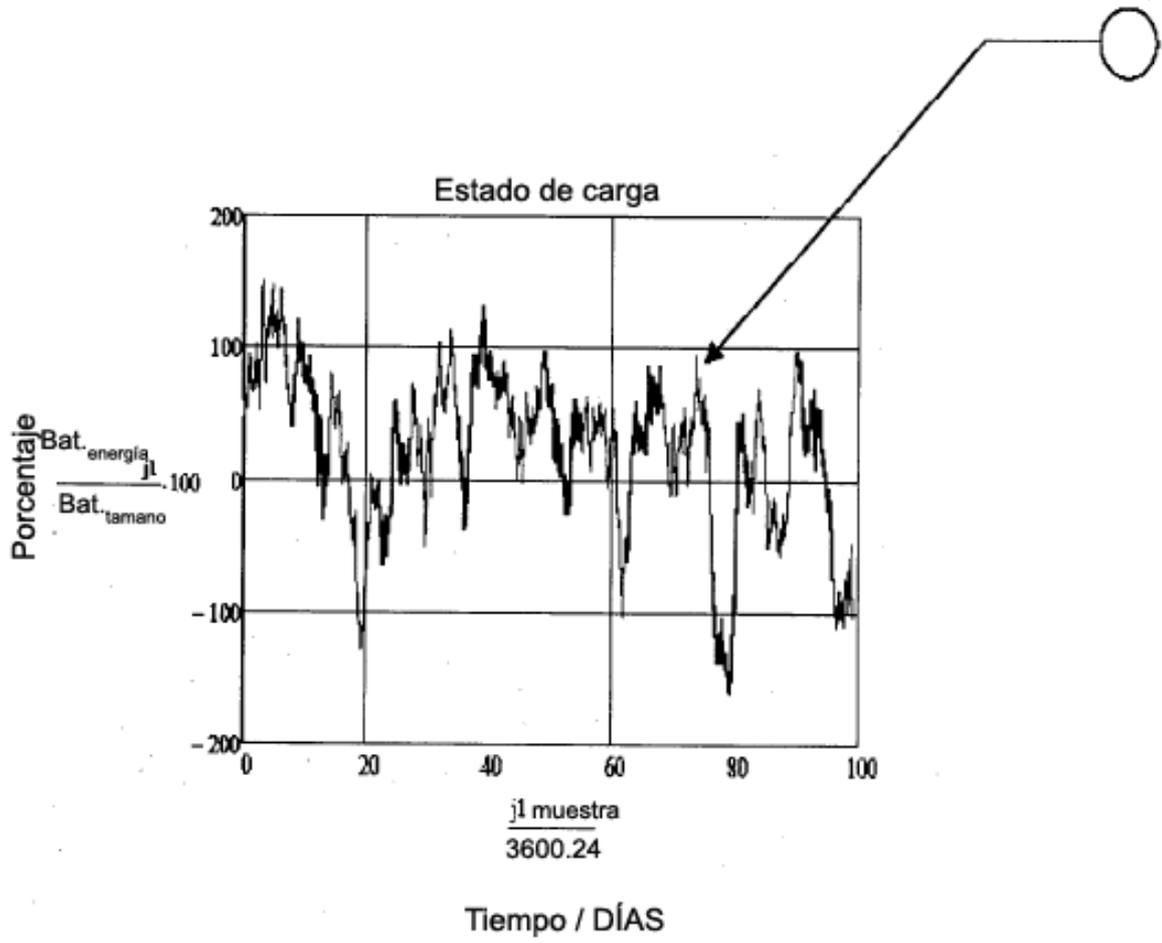


FIG. 7

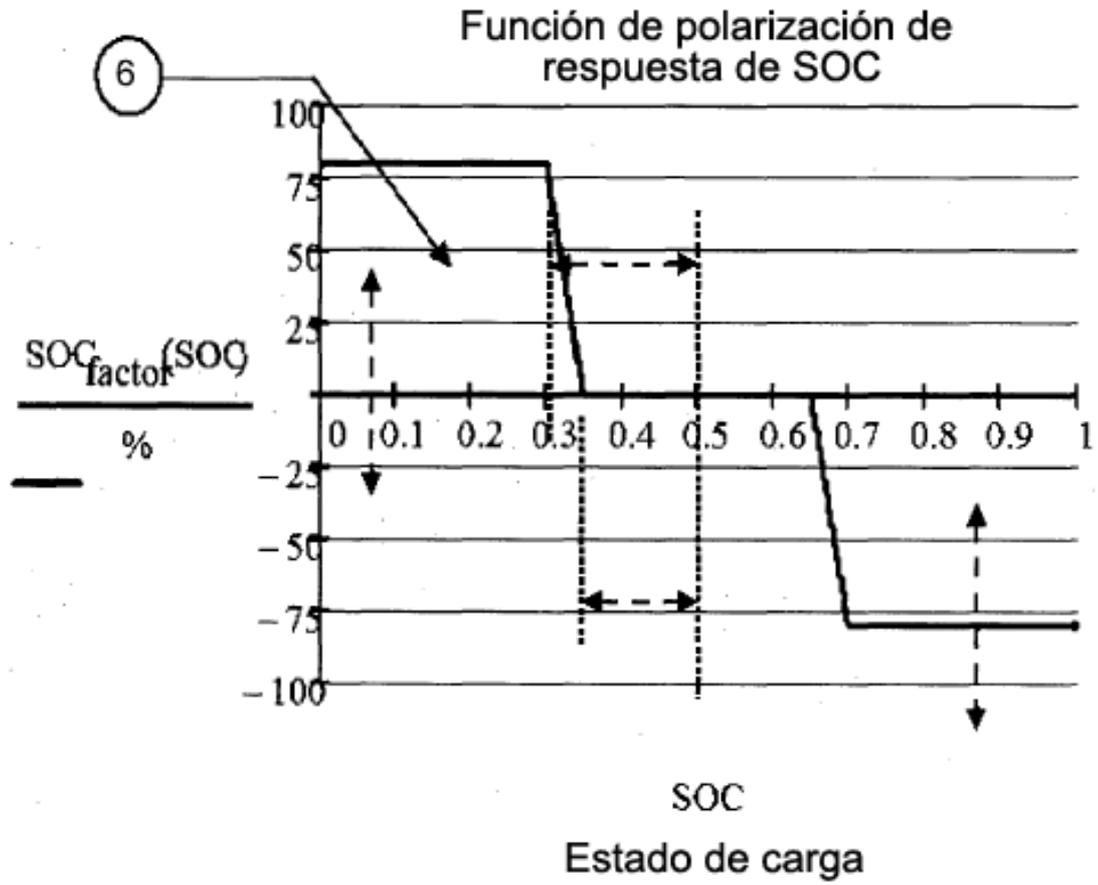


FIG. 8

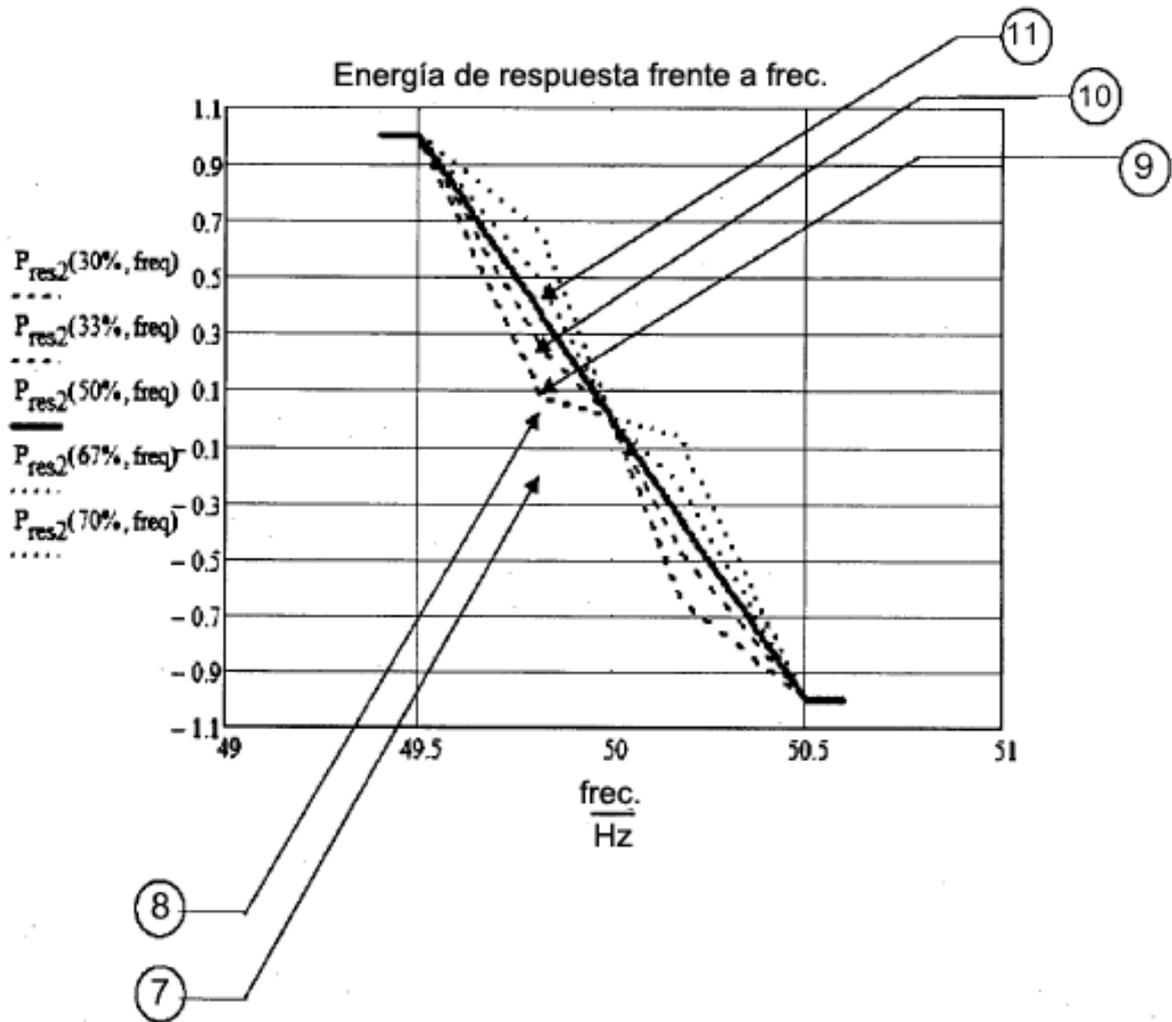


FIG. 9

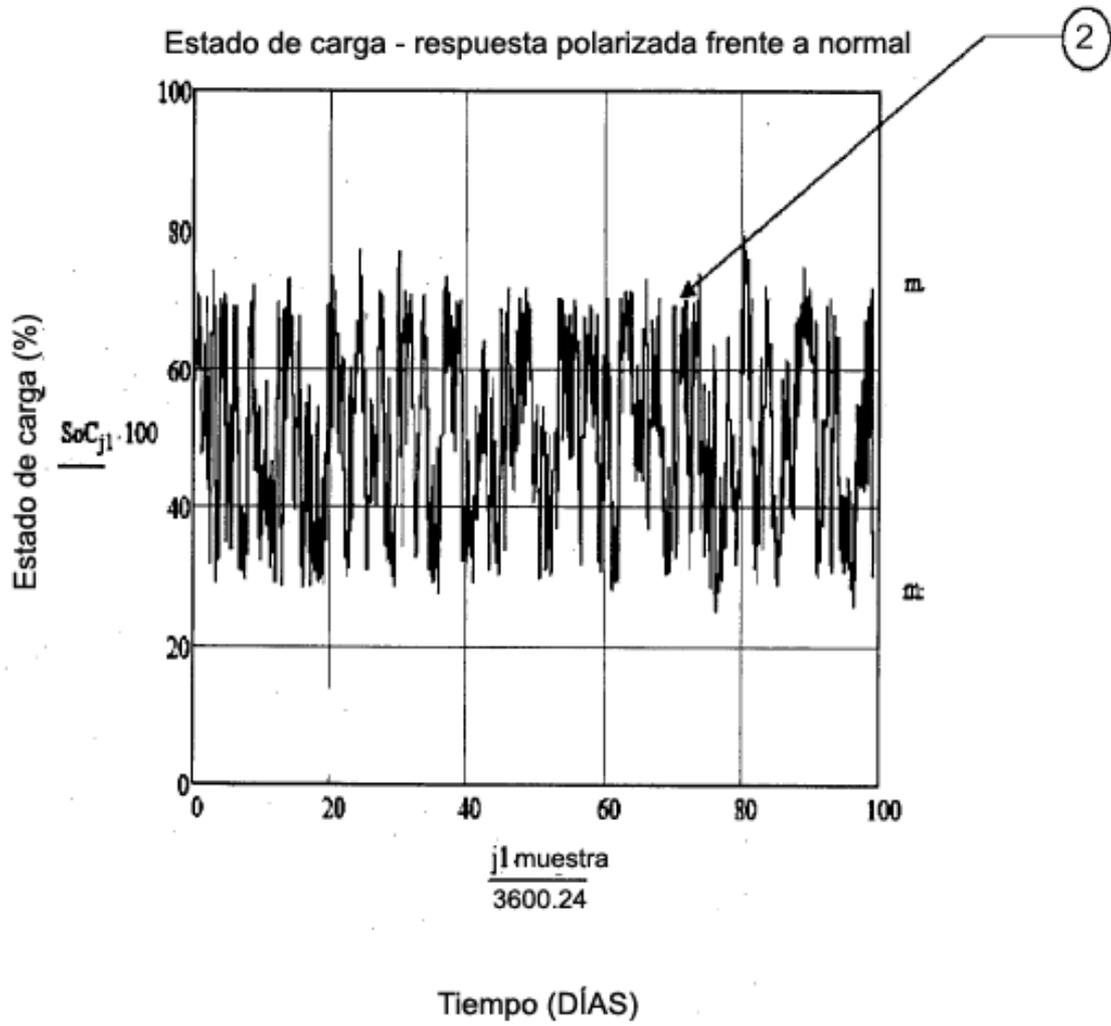


FIG. 10

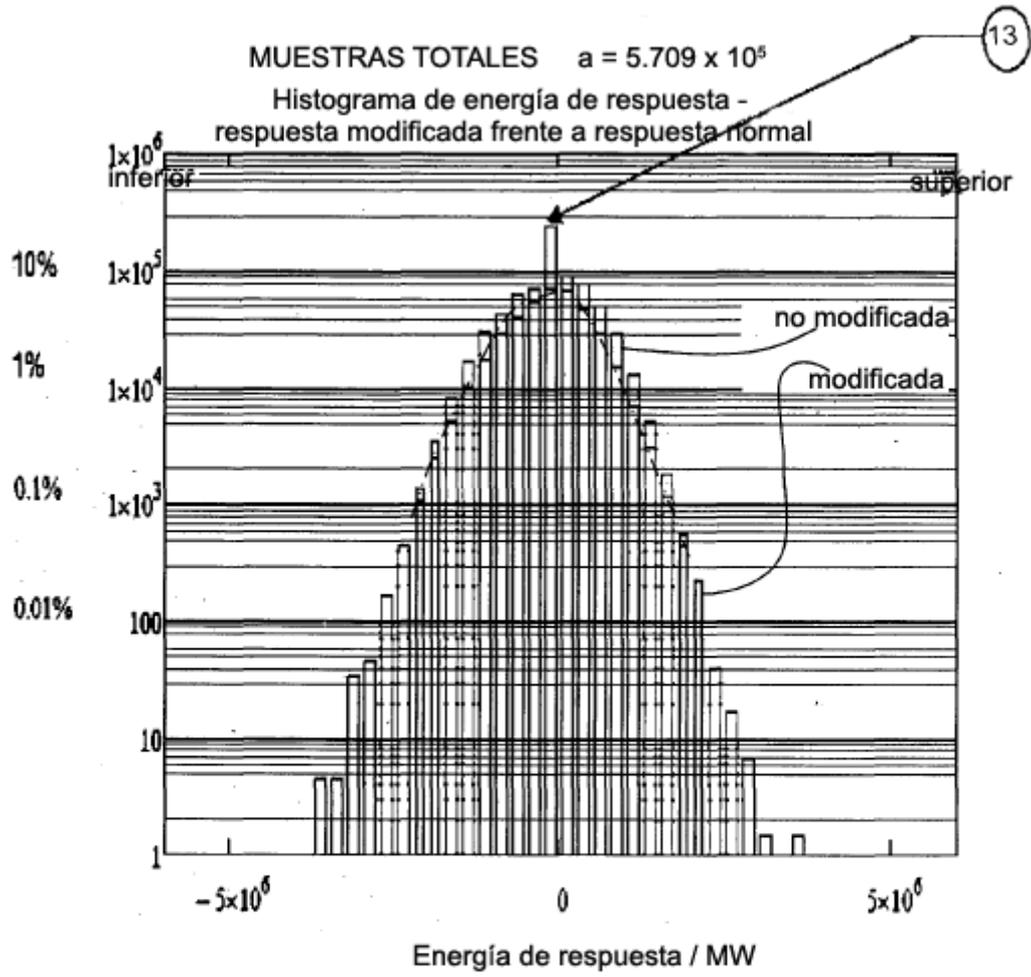


FIG. 11

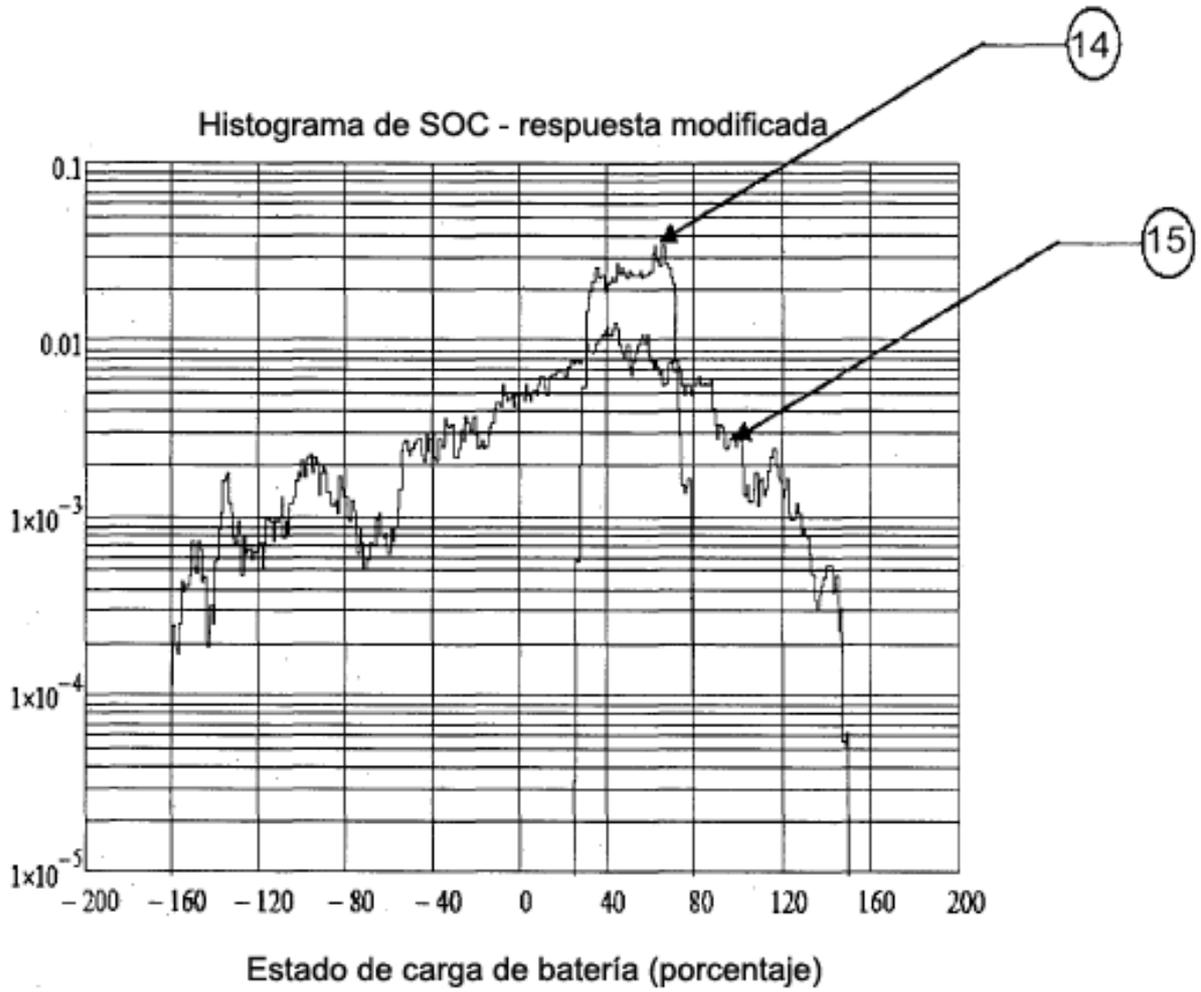


FIG. 12