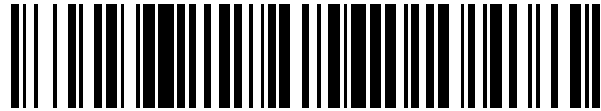


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 209**

51 Int. Cl.:

H02J 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.08.2016 PCT/GB2016/052559**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.02.2017 WO17029508**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2016 E 16757052 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3338337**

54 Título: **Capacidad de monitorización y equilibrio en celdas de azufre litio dispuestas en serie**

30 Prioridad:

18.08.2015 GB 201514684

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

13.02.2020

73 Titular/es:

**OXIS ENERGY LIMITED (100.0%)
E1 Culham Science Centre
Abingdon, Oxfordshire OX14 3DB, GB**

72 Inventor/es:

HALE, CHRIS

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 742 209 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

Capacidad de monitorización y equilibrio en celdas de azufre litio dispuestas en serie

5 Campo técnico

La presente divulgación se refiere a aparatos, métodos y productos de programas informáticos para su uso en la capacidad de monitorización y equilibrio en celdas de azufre litio dispuestas en serie. La presente divulgación también se refiere a un sistema de gestión de batería o controlador de sistema de energía para monitorizar y equilibrar la carga y capacidad en celdas de azufre litio dispuestas en serie.

Antecedentes

Mientras que las celdas secundarias de iones de litio se producen actualmente en masa y son de uso común, el Azufre Litio (Li-S) es una química de celdas de próxima generación que, con una densidad de energía teórica 5 veces mayor que el ión de Litio, puede servir mejor como un almacenamiento de energía electroquímica para un amplio rango de aplicaciones.

Una celda de azufre litio típica comprende un ánodo (electrodo negativo) formado a partir de metal de litio o una aleación de metal de litio, y un cátodo (electrodo positivo) formado a partir de azufre elemental u otro material de azufre electroactivo. El azufre u otro material electroactivo que contiene azufre se puede mezclar con un material eléctricamente conductor, tal como carbono, para mejorar su conductividad eléctrica. Normalmente, el carbono y el azufre se muelen y luego se mezclan con un solvente y un aglutinante para formar una suspensión. La suspensión se aplica a un colector de corriente y luego se seca para eliminar el disolvente. La estructura resultante se calandra para formar una estructura compuesta, que se corta en la forma deseada para formar un cátodo. Se coloca un separador sobre el cátodo y se coloca un ánodo de litio sobre el separador. Luego se introduce el electrolito en la celda ensamblada para humedecer el cátodo y el separador.

Las celdas de azufre litio son celdas secundarias. Cuando se descarga una celda de azufre litio, el azufre en el cátodo se reduce en dos etapas. En la primera etapa, el azufre (por ejemplo, azufre elemental) se reduce a especies de polisulfuro, S_n^{2-} ($n \geq 2$). Estas especies son generalmente solubles en el electrolito. En la segunda etapa de descarga, las especies de polisulfuro se reducen a sulfuro de litio, Li_2S , que se puede depositar sobre la superficie del ánodo.

Las celdas de azufre litio pueden (re)cargarse al aplicar una corriente externa a la celda. Normalmente, la celda se carga a un voltaje de corte fijo de, por ejemplo, 2.35 V. Cuando se carga la celda, el mecanismo de dos etapas ocurre en reversa, con el sulfuro de litio oxidado a polisulfuro de litio y luego a litio y azufre. Este mecanismo de dos etapas se puede ver tanto en los perfiles de descarga como de carga de una celda de azufre litio. En consecuencia, cuando se carga una celda de azufre litio, en la primera etapa de carga, el voltaje se mantiene relativamente constante durante una larga meseta. Luego, a medida que la celda pasa de la primera a la segunda etapa de carga (que ocurre cerca de la parte superior de la carga), la tasa de cambio de voltaje aumenta considerablemente.

El uso de dichas celdas secundarias recargables (como el ión de litio o Li-S), en particular pilas de las mismas (baterías), con el propósito de cargarlas con energía electroquímica almacenada para su posterior descarga y uso, está adquiriendo cada vez más importancia en un rango de aplicaciones que incluyen aplicaciones automotrices, marinas y de otros vehículos, en suministros de energía domésticos e ininterrumpidos, y en el almacenamiento de energía producida a partir de fuentes de electricidad intermitentes y renovables para la demanda y nivelación de carga en redes de energía domésticas y conectadas a la red.

Para soportar de manera efectiva el almacenamiento y uso de energía en estas aplicaciones, es deseable maximizar la capacidad efectiva y la vida útil de las celdas en una pila de celdas, y gestionar los ciclos de carga y descarga de las celdas para optimizar el rendimiento.

Las celdas de una pila de celdas normalmente se fabrican para funcionar con capacidades nominales y, por lo tanto, deberían (dentro de las tolerancias operativas y de fabricación), por lo menos inicialmente, funcionar de manera idéntica en los ciclos de carga y descarga. Sin embargo, en una pila de celdas, el estado de salud y el rendimiento de las diferentes celdas durante los ciclos de carga y descarga comienzan a desviarse a través del uso debido a una serie de factores que incluyen variaciones de temperatura en la pila de celdas durante el uso, errores de medición en sensores y variaciones en otros componentes electrónicos y eléctricos, y a través de variaciones en la producción dentro de las tolerancias de fabricación y pequeñas variaciones en el rendimiento inherente de las celdas y las características de envejecimiento que se exacerban con el tiempo y el uso. Por lo tanto, durante un período de uso, las celdas en una pila de celdas normalmente varían en sus estados de salud y capacidades, y, en consecuencia, en un momento dado de operación de carga/descarga, las diferentes celdas tendrán diferentes estados de carga y cantidades de carga almacenada restante.

65

Es posible que, debido a estas variaciones e interacciones entre las celdas, las celdas individuales en una cadena en serie se estresen demasiado y provoquen un fallo prematuro de la celda. Durante el ciclo de carga, si hay una celda degradada en la cadena con una capacidad disminuida, existe el peligro de que una vez que haya alcanzado su carga completa esté sujeta a una sobrecarga hasta que el resto de las celdas de la cadena alcancen su carga completa. El resultado es la acumulación de temperatura y presión y el posible daño a la celda. Con cada ciclo de carga y descarga, las celdas más débiles se debilitarán hasta que la batería falle. Durante la descarga, la celda más débil tendrá la mayor profundidad de descarga y tenderá a fallar antes que las otras. Incluso es posible que el voltaje en las celdas más débiles se invierta a medida que se descargan por completo antes de que el resto de las celdas también provoque una falla temprana de la celda. Por lo tanto, el envejecimiento de celda desequilibrado que conduce a variaciones en los estados de carga de la celda en los ciclos de descarga de carga en una pila de celdas o módulos de celdas (una cantidad de dichas celdas dispuestas en paralelo) conectadas en serie puede conducir a una alta tasa de falla de las celdas individuales y a una pobre fiabilidad de la pila de celdas en su conjunto. El envejecimiento desequilibrado es un problema menor con las cadenas paralelas que tienden a equilibrarse automáticamente, ya que la conexión paralela mantiene todas las celdas al mismo voltaje y al mismo tiempo permite que la carga se mueva entre las celdas, ya sea que se aplique o no un voltaje externo. Una vez que falla una celda en una pila de celdas en serie, se debe reemplazar toda la batería y las consecuencias son extremadamente costosas. Reemplazar las celdas fallidas individuales no resuelve el problema ya que las características de una celda nueva serían muy diferentes de las celdas envejecidas en la cadena y la falla ocurriría pronto una vez más. Es posible cierto grado de reacondicionamiento mediante la canibalización de baterías de edad y uso similares, pero nunca puede alcanzar el nivel de coincidencia y confiabilidad posible con nuevas celdas.

Para proporcionar una solución dinámica a este problema se tiene cuenta el envejecimiento y las condiciones de funcionamiento de las celdas, un sistema de gestión de batería (BMS) configurado para controlar la carga y descarga de la etapa de celda puede incorporar un módulo de equilibrio de celda para evitar que las celdas individuales estresarse demasiado y minimizar las variaciones de carga de celda a celda. Estos sistemas monitorizan el voltaje (o SOC) de cada celda en la cadena. Los circuitos de conmutación controlan la carga aplicada a cada celda individual en la cadena durante el proceso de carga (o posiblemente descarga) para igualar la carga en todas las celdas del paquete. El equilibrio de la batería lleva a cabo la equalización del estado de carga que tiene como objetivo evitar un gran desequilibrio a largo plazo en lugar de simplemente pequeñas desviaciones a corto plazo, intraciclo o ciclo a ciclo entre estados de carga relativos de las celdas. Estas técnicas de equilibrio de batería y redistribución de batería maximizan la capacidad de una batería con múltiples celdas en serie para que toda su energía esté disponible para su uso y aumente la vida útil de la batería. Los módulos de equilibrio de celda se encuentran a menudo en los paquetes de baterías de iones de litio BMS para teléfonos celulares y computadoras portátiles. También se pueden encontrar en paquetes de baterías de vehículos eléctricos.

Sin redistribución de carga, la descarga se debe detener cuando la celda con la capacidad más baja está vacía (aunque otras celdas aún no estén vacías); Esto limita la energía que se puede tomar y devolver a la batería.

Sin equilibrar, la celda de menor capacidad es un “punto débil” en la pila de celdas, ya que puede sobrecargarse o descargarse fácilmente mientras que las celdas con mayor capacidad experimentan solo un ciclo parcial. Para que las celdas de mayor capacidad experimenten un ciclo de carga/descarga completo de la mayor amplitud, el módulo de equilibrio de celdas debe actuar para “proteger” las celdas más débiles. Por lo tanto, en una batería equilibrada, la celda con la mayor capacidad se puede llenar sin sobrecargar ninguna otra celda (es decir, más débil, más pequeña), y se puede vaciar sin descargar en exceso ninguna otra celda. El equilibrio de la batería se realiza al transferir energía desde o hacia celdas individuales, hasta que el SOC de la celda con la capacidad más baja sea igual al SOC de la batería.

Tradicionalmente hay dos enfoques para el equilibrio de pila; equilibrio activo y equilibrio pasivo.

El equilibrio pasivo es un proceso en el que los voltajes de las celdas individuales se monitorizan durante un proceso de carga y cualquier celda cuyo voltaje sea el líder de la celda de voltaje más bajo, cambiará periódicamente una resistencia de derivación a través de la celda para desviar parte de la corriente de carga de esa celda. La aplicación de una resistencia de derivación ralentizará el proceso de carga de una celda y permitirá que las celdas de voltaje más bajo se pongan al día, de modo que en la parte superior de la carga, todas las celdas mantengan el mismo voltaje (dentro de una tolerancia de medición típica).

El equilibrio pasivo se usa generalmente para rectificar la “dispersión de celda” en la que cualquier celda dentro de la pila sujeta a una mayor tasa de autodescarga (normalmente a través del almacenamiento o la electrónica adjunta) puede volver a alinearse con otras celdas. Este método todavía depende de la capacidad de la celda más débil y generalmente utiliza el período hacia la parte superior de la carga en un régimen estándar de corriente constante/carga constante donde la corriente se está reduciendo hacia la parte superior de la carga, lo que permite que la resistencia de equilibrio de derivación sea más efectiva.

El equilibrio activo es un proceso en el que la carga se toma de la celda más fuerte utilizando convertidores de CC (o condensadores conmutados simples) y se mueve a la celda más débil para mantener el equilibrio de las celdas. Este enfoque se puede utilizar durante la descarga, así como la carga para compensar una celda de baja capacidad. Al

igual que con el equilibrio pasivo, generalmente es más efectivo durante la carga cónica. Dado que no es práctico proporcionar una carga independiente para todas las celdas individuales simultáneamente, la carga de equilibrio debe aplicarse secuencialmente. Teniendo en cuenta los tiempos de carga para cada celda, el proceso de eculización también consume mucho tiempo con tiempos de carga medidos en horas.

Por lo tanto, es crucial para la fiabilidad y la eficacia de las pilas de celdas secundarias en sus aplicaciones como reservas y fuentes de energía ser capaces de equilibrar eficazmente las celdas constituyentes.

Es en el contexto anterior que se diseña la presente divulgación.

Resumen de la invención

Los métodos de equilibrio activo y pasivo están normalmente diseñados para equilibrar las celdas de iones de litio. El presente inventor ha reconocido que, por otro lado, las celdas de azufre litio (Li-S), debido a su perfil de voltaje, solo pueden aplicar prácticamente técnicas de equilibrio de pila basadas en voltaje durante el 10% final de carga, y dado que el proceso de carga es corriente constante en todo momento, y no hay un período de carga gradual, por lo que el equilibrio solo puede ocurrir prácticamente durante la décima parte final del tiempo de carga total. Adicionalmente, tanto las técnicas de equilibrio activas como las pasivas requieren mediciones precisas de voltaje o estado de carga para ser efectivas. Dado que, para las celdas de Li-S, en la primera etapa de carga, el voltaje de la celda permanece en una meseta en todo momento, lo que dificulta la medición precisa y la discriminación del voltaje de la celda, y que la segunda etapa de carga, donde la tasa de cambio de voltaje aumenta de manera considerable, persiste durante un tiempo relativamente corto del ciclo de carga, la capacidad de determinar con precisión el voltaje y el estado relativo de carga en este segundo período de carga prolongado es crucial para implementar de manera efectiva los esquemas de equilibrio de celdas en las celdas de Li-S.

Por lo tanto, los presentes inventores se han dado cuenta de que, en las celdas de Li-S, debido a que la resolución de medición práctica y la precisión del voltaje son normalmente bajas (del orden de unos pocos mV), se limita la capacidad de determinar el estado de carga o las diferencias de capacidad relativas en la segunda etapa de carga a partir de valores de voltaje medidos con la precisión suficiente para controlar un esquema de equilibrio activo o pasivo de una celda.

Por lo tanto, visto desde un aspecto, la presente divulgación proporciona un aparato para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre por lo menos dos celdas, o módulos de celdas, A y B de una pluralidad de celdas de azufre litio dispuestas en serie, que comprende: un temporizador; un módulo de monitorización de voltaje configurado para monitorizar una caída de voltaje a través de cada una de las celdas de azufre litio o módulos de celdas dispuestos en serie en base a las señales recibidas de un circuito de monitorización de voltaje; y un módulo de monitorización de celdas acoplado al temporizador y al módulo de monitorización de voltaje y configurado para, durante un ciclo de carga en el que las celdas se cargan a una corriente constante: registrar una marca de tiempo T_1 (Celda A) en la cual el voltaje monitorizado de la primera la celda, la celda A, que conduce la carga, alcanza un primer voltaje V_1 (Celda A) configurado para estar cerca de la parte superior de la carga a medida que aumenta la tasa de cambio del voltaje monitorizado; registre una marca de tiempo T_1 (Celda B) en la cual el voltaje monitorizado de la celda B después de la carga alcanza el primer voltaje V_1 (Celda A); registre una marca de tiempo T_2 (Celda A) en la que el voltaje monitorizado de la celda principal A alcanza un segundo voltaje V_2 (Celda A) configurado para estar sustancialmente en la parte superior de la carga; registre un voltaje monitorizado V_2 (Celda B) de la siguiente celda B en T_2 (Celda A); y determine, con base en por lo menos T_1 (Celda A), T_1 (Celda B), V_2 (Celda A) y V_2 (Celda B), un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B.

De acuerdo con este aspecto de la invención, y como se mostrará en el presente documento, al utilizar marcas de tiempo en las que diferentes celdas en la pila alcanzan voltajes dados (ya que el tiempo se puede medir con mayor precisión que el voltaje de la celda durante la carga en aplicaciones de Li-S), Las mediciones del estado de carga, particularmente el estado relativo de carga y la capacidad entre las diferentes celdas, se pueden determinar con precisión. Es decir, los presentes inventores han reconocido que, como el tiempo puede medirse en la práctica con mucha más precisión que el voltaje en un régimen de carga de Li-S, y como la carga de la celda de Li-S es una corriente constante, el tiempo de carga en sí mismo se puede utilizar como un indicador de capacidad. Por lo tanto, al medir el tiempo en el que las diferentes celdas en la pila de celdas alcanzan diferentes voltajes medidos, se puede realizar una medición mucho más precisa de las capacidades relativas y los estados de carga de las celdas que solo al medir las diferencias de voltaje solo. Esto se puede lograr en particular al medir el tiempo que tardan las celdas en cargarse a través de un incremento de voltaje cerca de la parte superior de la carga en la segunda fase de carga.

Cuando el segundo voltaje está sustancialmente en o cerca de una carga máxima considerada, esto puede estar sustancialmente dentro de 0.5% de SOC, o sustancialmente dentro de 1% de SOC, o sustancialmente dentro de 1.5% de SOC, o sustancialmente dentro de 2% de SOC, o sustancialmente dentro de 2.5% de SOC, o sustancialmente dentro del 3% de SOC, o sustancialmente dentro del 4% de SOC, o sustancialmente dentro del 5% de SOC de la parte superior de la carga considerada.

En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura además para determinar, como el indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B, una diferencia de tiempo relativa entre la duración para que la celda A se cargue a través del incremento de voltaje entre V_1 (Celda A) y V_2 (Celda A) y la duración proyectada para que la Celda B se cargue a través del mismo incremento de voltaje. En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura para calcular la diferencia de tiempo relativa entre la duración de la celda A y la celda B para cargar a través del mismo incremento de voltaje entre V_1 (Celda A) y V_2 (Celda A) utilizando la ecuación:

$$\frac{(T_1(\text{Celda B}) - T_1(\text{Celda A})) - (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B}))}{\frac{dV}{dt}}$$

$\frac{dV}{dt}$

10 en la que $\frac{dV}{dt}$ es un valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje. Esto puede proporcionar una diferencia de tiempo utilizable en el control de un circuito de equilibrio de carga para equilibrar las celdas.

15 En las realizaciones, el valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje se calcula como la tasa promedio de cambio de voltaje a lo largo del tiempo para una celda de azufre litio del tipo correspondiente a la celda A desde el voltaje V_1 hasta el voltaje V_2 cuando se carga a la misma tasa de carga y eficiencia de carga como la celda B. Alternativamente, en las realizaciones, el valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje se calcula como la tasa de cambio de voltaje promedio medida con el tiempo para la Celda A o la Celda B entre T_1 y T_2 para ese celda.

20 En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura además para calcular, para una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B, la diferencia de tiempo relativa entre la duración para que la celda A y la celda B se carguen a través del mismo incremento de voltaje entre V_1 (Celda A) y V_2 (Celda A) dividido por la duración para que la celda A se cargue a través del incremento de voltaje entre V_1 (Celda A) y V_2 (Celda A), es decir:

$$\frac{(T_1(\text{Celda B}) - T_1(\text{Celda A})) - (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B}))}{\frac{dV}{dt} \cdot (T_2(\text{Celda A}) - T_1(\text{Celda A}))}$$

25 Esto proporciona una diferencia porcentual basada en el tiempo de carga, ilustrando una diferencia de capacidad relativa entre las celdas.

30 En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura además para determinar el indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre celdas para cada una de la pluralidad de celdas de azufre litio conectadas en serie teniendo en cuenta la eficiencia de carga calculada en función de la capacidad esperada y la carga medida en durante el período de tiempo T_1 a T_2 .

35 En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura además para determinar un grado de descarga o SOC relativo de una celda x de las celdas (en relación con una celda clasificada - celda A) en T_2 (Celda A) al calcular:

$$\frac{T_2(\text{Celda A})}{T_2(\text{Celda A}) + (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda x})) \frac{dV}{dt}}$$

40 El grado calculado de descarga de la celda x, junto con la capacidad relativa calculada de esa celda a una celda de referencia, se puede utilizar en el control de un circuito de equilibrio de carga para equilibrar las celdas.

45 En las realizaciones, para compensar los errores de medición de voltaje para una celda de la pluralidad de celdas, el módulo de monitorización de celda se configura además para: analizar las lecturas de voltaje monitorizadas para la celda a lo largo del tiempo para identificar un voltaje de observación medido V_m de una característica de la curva de voltaje que se sabe que ocurre en el perfil de carga de las celdas de azufre litio del mismo tipo que la celda A a un voltaje conocido V_f cuando la celda se carga desde V_1 (Celda A) hacia V_2 (Celda A); y calcular un error de medición de voltaje de la celda V_e como $V_m - V_f$. Al determinar el voltaje medido de una característica en la curva de carga que se sabe que ocurre a un voltaje dado, cualquier error de medición de voltaje se puede calibrar y eliminar para las celdas, lo que permite una carga más precisa y un menor deterioro en las diferencias de capacidad relativas en las celdas.

En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para una celda de la pluralidad de celdas, un voltaje de observación medido V_m que corresponde a

una característica de la curva de carga conocida mediante la prueba de las celdas de azufre litio que se producen en el perfil de carga a un voltaje conocido V_f entre V_1 y V_2 .

5 En las realizaciones, la característica conocida de la curva de carga es un punto de inflexión, y para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para una celda de la pluralidad de celdas, un voltaje de observación medido correspondiente a un punto de inflexión, el módulo de monitorización de celda se configura para : registrar marcas de tiempo a las cuales la tasa de cambio del voltaje monitorizado para la celda dV/dt alcanza un conjunto de valores dados a medida que dV/dt aumenta y disminuye a ambos lados de la inflexión; evaluar un momento en el que se produce un punto medio entre las marcas de tiempo correspondientes a los valores crecientes y decrecientes de dV/dt ; y evalúe un voltaje monitorizado observado en el punto medio como un voltaje de observación monitorizado para el punto de inflexión.

15 En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para la celda, un voltaje de observación medido correspondiente al punto en el que d^2V/dt^2 es máximo, lo cual se conoce a través de prueba de las celdas de azufre litio que se producen en el perfil de carga a un voltaje conocido entre V_1 y V_2

20 En las realizaciones, el módulo de monitorización de la celda se configura para ajustar el cálculo de la capacidad cargada en T_2 (Celda A) en base a cualquier error de medición de voltaje V_e observado para obtener una capacidad cargada real para la celda.

En las realizaciones, el módulo de monitorización de celda se configura adicionalmente para: corregir los valores de voltaje monitorizados para una celda en base a cualquier error de medición de voltaje observado V_e para esa celda.

25 En las realizaciones, el aparato comprende además un módulo de control de equilibrio de celdas, para equilibrar una carga a través de una pluralidad de celdas, estando el módulo de control de equilibrio de celdas acoplado a un circuito de equilibrio de celdas operable por el módulo de control de equilibrio de celdas para ajustar activa o pasivamente la carga relativa entre una o más de las celdas, el módulo de control de balance de celdas también está acoplado al módulo de monitorización de celdas y se configura para: controlar el funcionamiento del circuito de balance de celdas en un proceso de carga de corriente constante o en un proceso de descarga para provocar que el estado de carga a través de una pluralidad de celdas esté más equilibrado en función de uno o más de: uno o más valores, recibidos desde el módulo de monitorización de celdas, para un indicador métrico de una diferencia o diferencias de capacidad relativas entre una pluralidad de celdas; y uno o más valores, recibidos del módulo de monitorización de celdas, indicativos de un grado de variación de SOC de una o más de las celdas en la parte superior de la carga. Al proporcionar un módulo de control de equilibrio de celdas que controla un circuito de equilibrio de celdas de esta manera, el aparato puede equilibrar una pluralidad de celdas de Li-S para igualar su funcionamiento, prolongar sus vidas y extraer mayor capacidad de ellas en uso. Son posibles varios esquemas de equilibrio de carga una vez que se conocen las capacidades relativas y/o los estados de carga.

40 En las realizaciones, el módulo de control de balanceo de celda y el circuito de balanceo de celda, provocan que las celdas estén más equilibradas, estén configuradas juntas: durante un proceso de carga de corriente constante, pausen el proceso de carga para provocar que se extraiga una cantidad relativa de carga de las celdas más fuertes con base en un período de tiempo calculado por el módulo de monitorización de celdas, por lo que una pluralidad de celdas coinciden con la celda más débil; y luego se reinicia la carga para recargar todas las celdas.

45 En las realizaciones, el módulo de control de equilibrio de celdas y el circuito de equilibrio de celdas, para provocar que las celdas estén más equilibradas, se configuran juntas: durante un estado de almacenamiento, desvían una cantidad conocida de carga de una o más de las celdas a otras celdas durante un período de tiempo extendido para igualar el estado de carga en una pluralidad de celdas.

50 En las realizaciones, el módulo de control de equilibrio de celdas y el circuito de equilibrio de celdas, provocan que las celdas estén más equilibradas, se configuren juntas: durante el proceso de descarga, desvían una cantidad conocida de carga de una o más de las celdas a otras celdas para igualar el estado de carga en una pluralidad de celdas.

55 En las realizaciones, el módulo de control de equilibrio de la celda y el circuito de equilibrio de la celda, si el módulo de monitorización de la celda determina que el voltaje de carga superior se ha alcanzado por error de medición de voltaje, se configuran juntos: continúe un proceso de carga durante un período de 'sobre carga' para permitir que se alcance un estado real de carga del 100% para las celdas.

60 En las realizaciones, el aparato comprende además uno o más procesadores e instrucciones de almacenamiento de medios legibles por ordenador, que cuando se ejecutan por uno o más de los procesadores, hacen que el procesador o procesadores implementen uno o más del temporizador, el módulo de monitorización de voltaje, la celda módulo de monitorización, y el módulo de control de equilibrio de celda del aparato y las realizaciones divulgadas anteriormente.

65

En las realizaciones, el aparato comprende además un circuito de monitorización de voltaje configurado para medir una caída de voltaje a través de cada una de las celdas de azufre litio dispuestas en serie y para proporcionar señales indicativas de dichas caídas de voltaje medidas a dicho módulo de monitorización de voltaje.

5 Visto desde otro aspecto, la presente divulgación proporciona un sistema de gestión de batería que comprende varias celdas de azufre litio o un controlador del sistema de energía para el acoplamiento a varias celdas de azufre litio, que comprende: un aparato de acuerdo con los aspectos descritos anteriormente y realizaciones dispuestas para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre por lo menos dos celdas y hacer que las celdas estén más equilibradas.

10 Visto desde otro aspecto, la presente divulgación proporciona instrucciones de almacenamiento de medios legibles por ordenador, que cuando se ejecutan por uno o más procesadores de un aparato para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre por lo menos dos celdas, o módulos de celdas, A y B de una pluralidad de celdas de azufre litio dispuestas en serie, hace que el procesador o procesadores implementen uno o más de los temporizadores, el módulo de monitorización de voltaje, el módulo de monitorización de celdas y el módulo de control de balance de celdas del aparato de acuerdo con los aspectos y realizaciones descritos anteriormente .

15 Visto desde otro aspecto, la presente divulgación proporciona un método para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre por lo menos dos celdas, o módulos de celdas, A y B de una pluralidad de celdas de azufre litio dispuestas en serie, que comprende: monitorizar un voltaje a través de cada una de las celdas de azufre litio o módulos de celdas dispuestos en serie según las señales recibidas de un circuito de monitorización de voltaje; y durante un ciclo de carga en el que las celdas se cargan a una corriente constante: registrar una marca de tiempo T_1 (Celda A) en la que el voltaje monitorizado de la primera celda, la celda A, que conduce la carga, alcanza un primer voltaje V_1 (Celda A) configurado para estar cerca de la parte superior de la carga a medida que la tasa de cambio del voltaje monitorizado aumenta de manera considerable; registrar una marca de tiempo T_1 (Celda B) en la cual el voltaje monitorizado de la celda B después de la carga alcanza el primer voltaje V_1 (Celda A); registrar una marca de tiempo T_2 (Celda A) en el cual el voltaje monitorizado de la celda principal A alcanza un segundo voltaje V_2 (Celda A) configurado para estar sustancialmente en la parte superior de la carga considerada; registrar un voltaje monitorizado V_2 (Celda B) de la siguiente celda B en T_2 (Celda A); y determinar, basado en por lo menos T_1 (Celda A), T_1 (Celda B), V_2 (Celda A) y V_2 (Celda B), un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B o la variación en el estado relativo de carga.

20 Las características opcionales descritas anteriormente implementadas en las realizaciones del aparato de acuerdo con el primer aspecto también se deben considerar divulgadas en este documento como etapas opcionales llevadas a cabo de acuerdo con realizaciones del método descrito anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán ciertas realizaciones de aspectos de la divulgación, solo a modo de ejemplo, en las que:

40 La figura 1 es una ilustración esquemática de un aparato 100 para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre varias celdas de azufre litio conectadas en serie en una pila de celdas de acuerdo con una realización;

45 La figura 2 es un gráfico de ejemplo del voltaje de la celda para una sola celda Li-S para un ciclo de carga de corriente constante que tiene una tasa de carga de $C/10$ contra el tiempo de carga;

50 La figura 3 es un gráfico de voltaje para un proceso de carga de corriente constante $C/10$ que ilustra el efecto de una pérdida de capacidad en la curva de carga para una celda graficada adyacente a la curva de carga de la celda mostrada en la figura 2;

La figura 4 es un gráfico de voltaje para un proceso de carga de corriente constante $C/10$ que ilustra el efecto de una mayor profundidad de descarga en la curva de carga para una celda graficada adyacente a la curva de carga de la celda mostrada en la figura 2;

55 La figura 5 es un gráfico de voltaje para un proceso de carga de corriente constante $C/10$ que ilustra el efecto de un error de medición de voltaje sobre la curva de carga para una celda graficada adyacente a la curva de carga de la celda mostrada en la figura 2;

60 La figura 6 muestra un método de marcado de tiempo para identificar el centro del pico de dV/dt en la segunda etapa de carga de celdas de Li-S; y

La figura 7 muestra un diagrama de flujo del proceso para implementar un método para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre varias celdas de azufre litio conectadas en serie en una pila de celdas de acuerdo con una realización.

65 Descripción detallada de las realizaciones

Ahora se hará referencia a la figura 1, que muestra una ilustración esquemática de un aparato 100 para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre varias celdas de azufre litio conectadas en serie en una pila de celdas. En este caso, la pila 120 de celdas incluye celdas 121A, 121B y 121C teóricamente idénticas que tienen por lo menos capacidades nominales inicialmente equivalentes conectadas en serie para proporcionar carga eléctrica a una carga (no mostrada) al convertir la energía electroquímica almacenada en las celdas en un ciclo de descarga y almacenar la carga en un ciclo de carga de corriente constante. En las realizaciones alternativas, se pueden proporcionar más o menos de tres celdas de Li-S en la pila de celdas, y una o más de las celdas se pueden proporcionar como una celda electroquímica individual o como un módulo de celda que comprende más de una celda conectada en paralelo.

El aparato 100 para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre varias celdas de azufre litio conectadas en serie en una pila 120 de celdas comprende un microcontrolador 110 que implementa uno o más módulos lógicos que llevan a cabo la monitorización, el procesamiento y el control como se describe a continuación en relación con la figura 7). El microcontrolador 110 está acoplado a las celdas de la pila 120 de celdas por un circuito 130 de monitorización de voltaje que comprende varios monitores 131A, 131B, 131C de voltaje, cada uno con un comparador que emite una señal de voltaje analógica indicativa de la caída de voltaje a través de la celda medida de la celda apilar. Cada monitor 131A, 131B, 131C de voltaje se configura para medir una caída de voltaje a través de su respectiva celda de litio o módulo de celda de azufre y para proporcionar una señal indicativa de dicha caída de voltaje medida a dicho microcontrolador 110 en los puertos 111A, 111B y 111C de entrada, respectivamente. El circuito 130 de monitorización de voltaje, y/o la pila 120 de celdas se pueden proporcionar como parte del aparato 100 para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre celdas plurales de azufre litio. Alternativamente, el circuito 130 de monitorización de voltaje, y/o la pila 120 de celdas se pueden omitir y el aparato 100 para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre varias celdas de azufre litio puede comprender el microprocesador en ausencia de estas características. Por ejemplo, el aparato 100 se puede proporcionar como parte de un controlador del sistema de energía, configurado para ser acoplado con una pila de celdas de Li-S, circuito de monitorización de voltaje y circuito de equilibrio de carga para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre las celdas y controlar el circuito de equilibrio de carga para equalizarlos.

En las realizaciones, el aparato 100 para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre varias celdas de azufre litio está constituido por el microcontrolador 110. En las realizaciones alternativas, en lugar de un microcontrolador 110, podría proporcionarse cualquier otro medio de procesamiento de datos adecuado para implementar los módulos lógicos que incorporan aspectos de la presente divulgación. Por ejemplo, los módulos lógicos podrían implementarse mediante un microprocesador de propósito general, tal como una CPU que se configura para operar bajo el control del programa mediante instrucciones almacenadas en un medio legible por ordenador, tal como la memoria RAM flash.

El microcontrolador 110, u otro en otras realizaciones, el aparato de procesamiento de datos configurado adecuadamente, proporciona un temporizador 112, un módulo 113 de monitorización de voltaje, un módulo 114 de monitorización de celda y un módulo 115 de control de equilibrio de celdas. El módulo 113 de monitorización de voltaje, el módulo 114 de monitorización de celda y el módulo 115 de control de equilibrio de celdas se pueden instanciar en la RAM 116 del microcontrolador 110 mediante la operación del microcontrolador 110 bajo el control del programa de firmware relacionado almacenado en la RAM 116 para instanciar los módulos lógicos.

El temporizador 112 se configura para emitir una indicación del tiempo transcurrido y puede implementarse en el microcontrolador 110 por software o utilizando un oscilador electrónico tal como un temporizador electrónico basado en cuarzo.

En términos generales, el módulo 113 de monitorización de voltaje se configura para monitorizar una caída de voltaje en cada una de las celdas de azufre litio o módulos de celdas dispuestos en serie en función de las señales recibidas en los puertos 111A, 111B, 111C del microcontrolador del circuito 130 de monitorización de voltaje. Normalmente, el módulo 113 de monitorización de voltaje es un componente lógico implementado en el microcontrolador 110 que se configura para recibir como entrada una representación digital de las señales de voltaje analógicas recibidas en los puertos 111A, 111B, 111C de entrada cuantificados por un convertidor analógico a digital (ADC) (no mostrado) proporcionado como parte del microcontrolador. El microcontrolador puede, por ejemplo, convertir las señales de voltaje recibidas utilizando un ADC de 12 bits, que, para un rango de voltajes medidos de hasta un valor de carga superior de 2.35 V considerado, daría como resultado que el módulo 113 de monitorización de voltaje tenga una resolución de medición del orden de 0.6 mV.

El módulo 114 de monitorización de celda está acoplado al temporizador 112 y al módulo 113 de monitorización de voltaje y se configura para, durante un ciclo de carga en el que las celdas de Li-S se cargan a una corriente constante (como suelen ser), determinar un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre las celdas. El módulo 114 de monitorización de celda también se puede configurar para determinar un grado de descarga o estado de carga de las celdas, y/o para determinar un error de medición de voltaje de las celdas (debido, por ejemplo, al circuito 130 de monitorización de voltaje).

El módulo 115 de control de equilibrio de celdas es para equilibrar una carga a través de una pluralidad de celdas en la pila 120 de celdas. El módulo 115 de control de equilibrio de celdas está acoplado a un circuito de equilibrio de celdas (no mostrado) operable por el módulo 115 de control de equilibrio de celdas (directa o indirectamente) para ajustar activa o pasivamente la carga relativa entre una o más de las celdas.

5 Ahora se hará referencia a la figura 7, que es un diagrama de flujo de proceso que ilustra un método 700, llevado a cabo por el aparato 100, para controlar la capacidad relativa y el estado de carga entre celdas de litio sulfuro conectadas en serie en una pila de celdas en las realizaciones.

10 Primero, en la etapa 701, al comienzo de un ciclo de carga de corriente constante, el temporizador 112 puede reiniciarse o el tiempo de inicio del ciclo de carga se registra como una marca de tiempo t_0 , mientras que el módulo 113 de monitorización de voltaje monitoriza el voltaje de cada una de las celdas en la pila 120.

15 A continuación, en la etapa 702, el módulo 114 de monitorización de la celda registra, para cada celda, una marca de tiempo T_1 (Celda 121A, celda 121B...) En la cual el voltaje monitorizado de esa celda alcanza V_1 . V_1 se elige como un voltaje en un porcentaje dado cerca de la carga máxima estimada para la celda Li-S, que está en V_2 . Se considera que tanto V_1 como V_2 están dentro de la segunda etapa de carga de las celdas de Li-S, en la cual la tasa de cambio de voltaje aumenta de manera considerable. En los ejemplos expuestos en el presente documento, V_1 se toma como 2.30V y V_2 se toma como 2.35V. Sin embargo, en las realizaciones alternativas, se pueden elegir diferentes voltajes de celda apropiados para este análisis.

20 Luego, cuando la primera celda de la pila de celdas monitorizadas alcanza el final de la carga, es decir V_2 , el módulo 114 de monitorización de celda registra otra marca de tiempo, T_2 . Al mismo tiempo, el módulo 114 de monitorización de celda también registra los voltajes monitorizados de las otras celdas en T_2 .

25 Por lo tanto, una vez que todas las celdas han alcanzado el primer voltaje V_1 , que es el mismo para cada celda (es decir, 2.30V), el módulo 114 de monitorización de celda ha registrado los diferentes tiempos T_1 (121A), T_1 (121B), T_1 (121C) en los que cada celda alcanza V_1 . Luego, cuando la primera celda, o "principal", ha alcanzado el voltaje de carga superior considerado, el módulo 114 de monitorización de la celda registra un sello, T_2 , que es el mismo para cada celda, y un voltaje de celda monitorizado para cada celda, es decir, V_2 (121A), V_2 (121B), V_2 (121C), que pueden ser diferentes para cada celda.

30 El módulo 114 de monitorización de celda luego pasa estas marcas de tiempo y los voltajes de celda monitorizados al módulo 114 de monitorización de celda.

35 La figura 2 es un gráfico del voltaje de la celda para una celda única 121A monitorizada por el módulo 114 de monitorización de celda para un ciclo de carga de corriente constante que tiene una tasa de carga de $C/10$ contra el tiempo de carga dado por el temporizador 112. Normalmente, cuando la celda alcanza la parte superior del voltaje de carga de 2,35 V, el proceso de carga se detiene. Sin embargo, en la figura 2, el voltaje durante el período de sobrecarga se muestra a modo de ilustración.

40 La celda 121A está funcionando de acuerdo con su capacidad nominal para ese tipo de celda. La figura 2 ilustra los tiempos T_1 , T_2 en los que la celda 121A alcanza voltajes $V_1 = 2.30V$ y $V_2 = 2.35V$. Es decir, el tiempo T_2 en el que la celda 121A alcanza $V_2 = 2.35 V$ se mide a 670 minutos de T_0 .

45 Nominalmente, con una tasa de carga $C/10$, el tiempo esperado para cargar con una batería completamente descargada sería de 10 horas (es decir, 600 minutos). En la práctica, las celdas exhibirán una eficiencia de carga no perfecta que extenderá el período de carga. En la figura 2, para este ejemplo, la duración de la carga a 2.35V (V_2) es de 670 minutos (suponiendo que T_0 fue de descarga completa), lo que da una eficiencia de carga de $600/670$ o 89.5%.

50 Teniendo en cuenta la eficiencia de carga, se pretende que V_2 se considere como el voltaje de fin de carga, que en este ejemplo se establece en 2.35 V y se considera que V_1 es un punto de voltaje nominal donde el estado de carga sería del 95%, que en este ejemplo es 2.30V. La duración de carga nominal entre V_1 y V_2 es, por lo tanto, de 33.5 minutos (es decir, $670 \cdot 0.05$). Esto se confirma por el tiempo en el que el voltaje medido V_1 (Celda 121A) = 2.30V es 636.5 minutos (es decir $670 \cdot 0.95$).

55 Por lo tanto, teniendo en cuenta esta representación temporal del estado de carga (SOC), el 1% de SOC representa una resolución de medición de 10 mV o una duración de carga de 6.7 minutos, y 1 minuto de carga equivale a un aumento de voltaje de celda de 1.49 mV. Dado que las mediciones se refieren al tiempo, la precisión absoluta de la medición de voltaje no es importante y, por lo tanto, todos los voltajes son relativos.

60 Entonces: en la etapa 703, el módulo 114 de monitorización de celda determina una diferencia de capacidad relativa entre las celdas; en la etapa 704, el módulo 114 de monitorización de celda determina un grado relativo de descarga para las celdas; y, en la etapa 205, se determina el error de medición de voltaje para las celdas.

Por lo tanto, se determina el efecto de estas diferencias en las marcas de tiempo y los voltajes medidos relacionados para las celdas en la carga entre 2.30V y 2.35 para distribuir su efecto. Una ilustración de los efectos de cada uno de estos factores se muestra en las Figuras 3, 4 y 5. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la representación de las curvas de carga para las celdas 121B, 121C y 121D que se muestran en las Figuras 2-4 no se basan en datos reales, pero en su lugar se presentan para ilustrar un efecto exagerado de la pérdida de capacidad en una celda, de las diferencias en los estados de carga y de los errores de medición.

El efecto de una diferencia de capacidad relativa se ilustra en la figura 3. En el presente documento, el gráfico de voltaje para el proceso de carga de corriente constante C/10 para la celda 121B se grafica adyacente a la curva de carga para la celda 121A. Se puede ver que la celda 121B conduce a la celda 121A. Esto podría deberse a que la celda 121B experimentó una mayor profundidad de descarga que la celda 121A en el ciclo de descarga anterior, y/o porque la celda 121B perdió parte de su capacidad nominal y se cargó al 100% de SOC más rápidamente que la celda 121A. En una inspección más cercana de la figura 3, sin embargo, se puede ver que el tiempo que tarda la celda 121B en cargarse a través del incremento de voltaje de 2.30V a 2.35V es menor que el tiempo que tarda la celda 121A en cargarse a través del mismo incremento de voltaje. Esto se debe a que la celda 121B se está cargando de 95% a 100% de SOC más rápido que la celda 121A, por lo que la celda 121B ha experimentado una pérdida de capacidad. Cuando existe dicha diferencia en la duración de la carga a través del incremento de voltaje, esto es indicativo de una diferencia de capacidad relativa entre las celdas.

En la figura 4, en contraste, el tiempo tomado por la celda 121C en cargarse a través del incremento de voltaje de 2.30V a 2.35V es el mismo que el tiempo que tarda la celda 121A en cargarse a través del mismo incremento de voltaje. En este caso, la celda 121C conduce a la celda 121A porque la celda 121A experimentó una profundidad de descarga menor que la celda 121C. Por lo tanto, cuando no está presente hay diferencia en la duración de la carga a través del incremento de voltaje, pero una celda conduce a otra, esto es indicativo de un estado relativo de diferencia de carga entre las celdas.

En la figura 5, las celdas 121D y 121A tienen la misma capacidad (ya que la duración para que se carguen a través del incremento de voltaje de 2.30V a 2.35V es la misma), y parecen alcanzar la carga superior a 2.35V al mismo tiempo. Por lo tanto, parecerían tener el mismo estado de carga. De hecho, la celda 121D en realidad conduce a la celda 121A debido a que la celda 121A tiene un estado de carga relativamente bajo. Sin embargo, esto no es evidente en las celdas 121A y 121D que alcanzan 2.35 V al mismo tiempo porque está enmascarado por la celda 121D que tiene un error de medición de voltaje. La presencia o ausencia de dicho error de medición de voltaje puede ser desambiguada por el módulo 114 de monitorización de celda que determina a qué voltaje en las curvas para las celdas 121A y 121D se produce una característica de la curva de carga para las celdas de Li-S, en el que esa característica es conocida ocurren a un voltaje dado. Por ejemplo, en las celdas de Li-S, se encontró que el punto de inflexión en la segunda etapa de carga a la cual la tasa de cambio de voltaje alcanza el centro de su pico y comienza a disminuir nuevamente, ocurre a un voltaje de alrededor de 2.33- 2.34V que es invariante entre celdas clasificadas idénticas. Por lo tanto, al determinar si existe una diferencia entre los voltajes a los cuales la tasa de cambio de voltaje para las celdas 121A y 121D alcanza su valor máximo, se puede determinar la presencia o ausencia de un error de medición de voltaje para las celdas.

Esto se puede ver en la figura 6, que traza un valor medido de la tasa de cambio de voltaje (dV/dT) en la segunda fase de carga. Como se puede ver, el período donde dV/dT está en su máximo puede abarcar varios minutos, en relación con alrededor del 1-2% de la capacidad. Para obtener un voltaje más preciso para esta función de referencia, el módulo de monitorización de voltaje se puede configurar para tomar marcas de tiempo a medida que aumenta la tasa de dV/dT y nuevamente a medida que dV/dT disminuye, de modo que en puntos similares a cada lado del pico, se puede determinar un valor de tiempo de punto medio. Es decir, se pueden determinar los tiempos T_3 y T_4 , en los que $dV/dT(T_3) = -dV/dT(T_4)$. El valor de tiempo del punto medio, T_f se puede determinar, donde $T_f = T_3 + (T_4 - T_3)/2$. El voltaje en este valor de tiempo medido, T_f , se puede comparar con el voltaje en el valor medido para las otras celdas (o clasificadas), y se puede identificar y calibrar cualquier error de medición de voltaje. Alternativamente, la diferencia entre el valor de tiempo medido T_f para esta característica conocida entre diferentes celdas es la diferencia en cada celda que alcanza un punto de carga conocido (que ocurre alrededor del 97%). Si bien este método se podría utilizar solo para determinar tal diferencia de tiempo, no puede desambiguar solo si una celda conduce a otra debido a diferencias de capacidad o diferencias en los estados de carga.

No obstante, al conocer el tiempo en que la celda debería haber alcanzado el 97% (teniendo en cuenta que todo esto es relativo a otras celdas) y un tiempo calculado basado en T_1 y T_2 , cualquier desviación entre las dos puede atribuirse a errores de medición de voltaje y por lo tanto, se puede calcular el estado real de carga en comparación con otras celdas, basado en T_f . El grado de equilibrio de celda se puede determinar en función de las capacidades relativas calculadas previamente (método 1).

Una característica alternativa para identificar en las curvas de carga sería el punto en el que la derivada de voltaje de segundo orden con respecto al tiempo alcanza un máximo, ya que este es un punto más definido que ocurre nuevamente a un voltaje estable que es invariante de celda a celda.

Con cualquiera de estos métodos, una comparación de los puntos de referencia de carga determinará qué celdas han alcanzado primero un marcador conocido, y en qué medida, permitiendo que se aplique el equilibrio cuando sea necesario.

- 5 Para implementar lo anterior, específicamente, en la etapa 703, el módulo 114 de monitorización de celda determina un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre las celdas. Para esto, el módulo 114 de monitorización de celda calcula la diferencia de tiempo relativa entre la duración de una celda A y una celda B para cargar a través del mismo incremento de voltaje entre V_1 (Celda A) y V_2 (Celda A) utilizando la ecuación:

$$(T_1(\text{Celda B}) - T_1(\text{Celda A})) - (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B})) / \frac{dV}{dt}$$

- 10 $\frac{dV}{dt}$ en la que $\frac{dV}{dt}$ es un valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje, que es la tasa promedio de cambio de durante el tiempo para una celda de azufre litio del tipo correspondiente a la celda A desde el voltaje V_1 al voltaje V_2 cuando se carga a la misma tasa de carga y eficiencia de carga como celda B. Alternativamente, el valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje se calcula como la tasa de cambio de voltaje promedio medida a lo largo del tiempo para la celda A o la celda B entre T_1 y T_2 para esa celda. La métrica de diferencia de tiempo anterior para la capacidad relativa entre las celdas A y B se puede convertir en un porcentaje de capacidad relativa al dividirlo por la duración para que la Celda A se cargue a través del incremento de voltaje entre V_1 (Celda A) y V_2 (Celda A) es decir:

$$\frac{(T_1(\text{Celda B}) - T_1(\text{Celda A})) - (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B})) / \frac{dV}{dt}}{T_2(\text{Celda A}) - T_1(\text{Celda A})}$$

- 20 En la etapa 704, el módulo 114 de monitorización de celda determina un grado relativo de descarga para la celda B T_2 (Celda A) al calcular:

$$\frac{T_2(\text{Celda A})}{T_2(\text{Celda A}) + (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B})) / \frac{dV}{dt}}$$

- 25 En la etapa 705, el módulo 114 de monitorización de celda determina el error de medición de voltaje para una celda, V_e , como $V_m - V_f$, donde V_m es un voltaje de observación medido que corresponde a una característica de la curva de carga conocida a través de la prueba de las celdas de azufre litio que ocurre en el perfil de carga a un voltaje conocido V_f entre V_1 y V_2 .

- 30 Cuando la característica conocida de la curva de carga es un punto de inflexión, para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para una celda de la pluralidad de celdas, el voltaje de observación medido V_m correspondiente al punto de inflexión de la curva de carga, el módulo 114 de monitorización de celda registra marcas de tiempo en las que la tasa de cambio del voltaje monitorizado para la celda dV/dt alcanza un conjunto de valores dados a medida que dV/dt aumenta y disminuye a ambos lados de la inflexión. El módulo 114 de monitorización de celda evalúa entonces como V_m un momento en el que se produce un punto medio entre las marcas de tiempo correspondientes a los valores crecientes y decrecientes de dV/dt .

- 40 Alternativamente, el módulo 114 de monitorización de celda se configura para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para la celda, un voltaje de observación medido V_m correspondiente al punto en el que d^2V/dt^2 está a un máximo.

- 45 Luego, en la etapa 706, las salidas de las ecuaciones anteriores se pueden utilizar para controlar el circuito de equilibrio de celdas para equilibrar las celdas. Al calcular las diferencias en las capacidades relativas de todas las celdas de la serie, se puede calcular el grado de equilibrio de capacidad requerido para cada celda. El módulo 115 de control de equilibrio de celdas puede recibir las salidas del módulo de control de celdas y controlar el circuito de equilibrio de celdas, que puede operar un esquema pasivo y/o activo para equilibrar las celdas, que puede ocurrir en cualquier momento a través del almacenamiento, descarga o carga (antes del umbral de 2.30V). Es la celda de menor capacidad que primero debe alcanzar el final del voltaje de carga, si no es así, son todas las celdas que la conducen las que necesitan equilibrio.

- 50 El equilibrio de celda se puede lograr al implementar un esquema de corrección de carga que podría basarse en cualquiera de los siguientes:

- 55

1) Pausar el proceso de carga para que se pueda extraer una cantidad relativa de carga de las celdas más fuertes, de modo que todas coincidan con la celda y la carga más débil luego recomience a recargar todas las celdas (se pueden utilizar técnicas de equilibrio activas o pasivas, pero desviando la corriente por un período de tiempo calculado en lugar de basarse en una medición de voltaje.

2) Se puede ecualizar la carga durante un estado de almacenamiento, al desviar una cantidad conocida de carga de cada celda durante un período prolongado de tiempo.

3) Ecualización de carga durante el proceso de descarga. La desviación actual puede ocurrir durante una descarga al aplicar las técnicas de desviación de carga durante un período conocido para desviar la cantidad de carga requerida.

4) Si se alcanza el punto de fin de carga mediante un error de medición de voltaje (véase el ejemplo 1 a continuación, (Celda 121A)) se puede aplicar un período de "sobrecarga" para permitir que se alcance un estado real de carga del 100%.

Como se mostrará ahora en relación con tres ejemplos trabajados, mediante el uso de las técnicas anteriores, el módulo 114 de monitorización de celda determina el grado en que hay diferencias relativas de capacidad y diferencias relativas de estados de carga entre las celdas en función de las marcas de tiempo y los voltajes pasados a través del módulo 113 de monitorización de celda, mientras se calibra por los efectos de cualquier error de medición

Los datos presentados en estos ejemplos trabajados son para un conjunto de celdas de Li-S 121A, 121B, 121C y 121D que se cargan en una tasa de carga de corriente constante de C/10.

Ejemplo 1: Error de medición

La celda 121A es la celda principal y se mide para alcanzar V_1 en $T_1 = 636.5$ minutos y V_2 (en el cual se considera que tiene un SOC del 100%) en $T_2 = 670$ minutos.

La celda 121B alcanza T_1 después de 643.2 minutos y tiene un voltaje medido V_2 de 2.34V en T_2 .

Las capacidades relativas se pueden calcular como (cuando la tasa de cambio de voltaje entre V_1 y V_2 es 1.49 mV por minuto para una celda nominal del tipo de celda A y B):

$$\begin{aligned} & \frac{(T_1(\text{Celda 121B}) - T_1(\text{Celda 121A})) - (V_2(\text{Celda 121A}) - V_2(\text{Celda 121B}))}{\frac{dV}{dt}} \\ &= \frac{(643.2\text{min} - 636.5\text{min}) - (2.35\text{V} - 2.34\text{V})}{0.00149\text{Vmin}^{-1}} \\ &= 0 \text{ segundos} \end{aligned}$$

Por lo tanto, no hay diferencia horaria en absoluto. La falta de una diferencia indica que, aunque los voltajes de terminación de carga son diferentes, las capacidades aún coinciden.

La causa de esta diferencia en los voltajes de terminación se podría deber a una descarga relativamente más profunda de la celda 121B. Sin embargo, la causa real se identificó al analizar dV/dt que la celda 121A alcanza el punto medio de su pico de dV/dt a los 6.7 minutos (es decir, 1% de SOC) anterior a la celda 121B. Esto indica un error de +10 mV en la medición del voltaje de la celda 121A en el presente documento. Por lo tanto, aunque el voltaje de terminación V_2 haya sido alcanzado por la celda 121A, con un error de +10 mV, la celda mostrará el 100% pero tendrá una capacidad de carga real del 99%.

En el ejemplo anterior, aunque hay un error de medición en una celda, se puede demostrar que las celdas tienen la misma capacidad y, por lo tanto, no requieren equilibrio. Sin embargo, el proceso de carga podría continuar cargando ambas celdas 121A y 121B al 100% de SOC.

Ejemplo 2 — Estados de carga relativos

La celda 121C alcanza T_1 después de 649.9 minutos, y tiene un voltaje medido V_2 de 2.33V en T_2 , luego se calcula por encima para tener una diferencia de capacidad relativa con respecto a la celda 121A de:

$$\begin{aligned} &= \frac{(649.9\text{min} - 636.5\text{min}) - (2.35\text{V} - 2.33\text{V})}{0.00149\text{Vmin}^{-1}} \\ &= 0 \text{ segundos} \end{aligned}$$

Nuevamente, no hay diferencia horaria en absoluto. La falta de una diferencia nuevamente indica que, aunque los voltajes de terminación de carga son diferentes, las capacidades aún coinciden.

De hecho, el cálculo del estado de carga de la celda 121B en comparación con el rendimiento de una celda clasificada utilizando las mediciones anteriores, proporciona lo siguiente:

$$\begin{aligned} & \frac{T_2(\text{Celda 121A})}{T_2(\text{Celda 121A}) + (V_2(\text{Celda 121A}) - V_2(\text{Celda 121C})) / \frac{dV}{dt}} \\ &= \frac{670 \text{ min}}{670 \text{ min} + (2.35V - 2.33V) / 0.00149V\text{min}^{-1}} \\ &= 98.0\% \end{aligned}$$

Esto tiene sentido ya que una diferencia de 20 mV en V_2 equivale a un 2% de SOC. Sin embargo, al analizar el voltaje al cual el dV/dt de la celda 121C alcanza el punto medio de su pico dV/dt , se encontró que hubo un error de medición de -5 mV para la celda 121C, de modo que su voltaje real en T_2 es 2.335 mV. La repetición del cálculo anterior para el SOC de la celda 121B en relación con una celda clasificada da un estado real de carga de:

$$\begin{aligned} &= \frac{670 \text{ min}}{670 \text{ min} + (2.35V - 2.335V) / 0.00149V\text{min}^{-1}} \\ &= 98.5\% \end{aligned}$$

Por lo tanto, la celda 121C tiene la misma capacidad que A y B, pero ha sido sometida a una autodescarga más alta, por lo que se requeriría un equilibrio para llevar las celdas al mismo SOC.

Ejemplo 3: Diferencia de capacidad relativa

En este ejemplo, la celda 121D (no mostrada) alcanza $V_1 = 2.30V$ después de $T_1 = 633.3$ minutos y $V_2 = 2.35V$ en $T_2 = 666.6$ minutos, por lo que en este ejemplo es la celda principal.

La celda 121A luego alcanza $V_1 = 2.30$ como antes en $T_1 = 636.5$ minutos pero a $T_2 = 666.6$ minutos la celda 121A alcanza $V_2 = 2.345V$.

Entonces la celda 121D se calcula como anteriormente para tener una diferencia de capacidad relativa con respecto a la celda 121A de:

$$\begin{aligned} & \frac{(T_1(\text{Celda 121D}) - T_1(\text{Celda 121A})) - (V_2(\text{Celda 121A}) - V_2(\text{Celda 121B})) / \frac{dV}{dt}}{(T_1(\text{Celda 121D}) - T_1(\text{Celda 121A})) - (V_2(\text{Celda 121A}) - V_2(\text{Celda 121B})) / \frac{dV}{dt}} \\ &= \frac{(633.3 \text{ min} - 636.5 \text{ min}) - (2.345V - 2.35V) / 0.00149V\text{min}^{-1}}{(633.3 \text{ min} - 636.5 \text{ min}) - (2.345V - 2.35V) / 0.00149V\text{min}^{-1}} \\ &= 9 \text{ segundos} \end{aligned}$$

Por lo tanto, existe una diferencia de capacidad entre las celdas 121A y 121D que se ilustra en la métrica anterior, que muestra que se proyecta que la celda 121A tomará 9 segundos más que la celda 121D para cargar sobre el incremento de voltaje de 2.30-2.35V.

Para convertir esto en una medida de capacidad relativa, por ejemplo,

$$\frac{(T_1(\text{Celda 121D}) - T_1(\text{Celda 121A})) - (V_2(\text{Celda 121A}) - V_2(\text{Celda 121B})) / \frac{dV}{dt}}{T_2(\text{Celda 121A}) - T_1(\text{Celda 121A})}$$

$$= \frac{(633.3 \text{ min} - 636.5 \text{ min}) - (2.345 \text{ V} - 2.35 \text{ V}) / 0.00149 \text{ Vmin}^{-1}}{666.6 \text{ min} - 636.5 \text{ min}}$$

5 Por lo tanto, la celda 121D en realidad tiene una capacidad reducida de 0.5% en comparación con las otras celdas. Por lo tanto, el equilibrio de las celdas es necesario para garantizar que la celda 121D no esté sobrecargada y esté en línea con las otras celdas.

10 Por lo tanto, debería ser evidente a partir de lo anterior que es posible determinar con precisión las diferencias de capacidad relativa, las diferencias de estado de carga y los errores de medición de las celdas de Li-S al monitorizar los voltajes de las celdas, los tiempos en que las celdas alcanzan ciertos voltajes y veces en que las curvas de carga alcanzan ciertas características que se sabe que ocurren a voltajes dados. Esto permite realizar un equilibrio efectivo de la pila de celdas de Li-S incluso cuando la precisión de las mediciones de voltaje es relativamente baja. De hecho, los ejemplos anteriores suponen un error de compensación en la medición de voltaje, dada una resolución de 0.6 mV para un ADC de 12 bits, cualquier error de compensación asociado con la medición de voltaje puede ser mitigado. Adicionalmente, la linealidad ADC y el error de ganancia en el rango de 50 mV estarían en el orden de 0.1 LSB y, por lo tanto, también se mitigarían, dejando un error de lectura de LSB de 0.6 mV (0.3% de error relativo de SOC, potencialmente reducido a través de un proceso de promedio sobre hora). El error de tiempo también sería insignificante. Cabe señalar que el error de ganancia de cualquier circuito de medición deberá tenerse en cuenta, pero es poco probable que tenga un impacto significativo en el rango que se está probando.

20 Los métodos anteriores también permiten monitorizar y rastrear las características relativas y el rendimiento de carga de las celdas de Li-S de un ciclo de carga a otro al monitorizar el diferencial de tiempo entre T_1 y T_2 de la celda principal. Por lo tanto, la degradación de la capacidad de las celdas y sus capacidades relativas y profundidades de descarga se podrían monitorizar con el tiempo y compensarse en un proceso de equilibrio de carga.

25 Además, los métodos anteriores permiten realizar el equilibrio de carga al permitir "sobrecargar". Es decir, si se considera que una celda tiene la misma capacidad que otra, pero primero alcanza su voltaje de fin de carga (EOC), es posible permitir una 'sobrecarga' para esa celda, especialmente si el punto dv/dt de inflexión se utiliza como un marcador de comparación de capacidad para todas las celdas. Si la marca de tiempo indica que la celda A tiene la misma capacidad que la celda B, pero la celda A alcanzó su punto de inflexión y su punto EOC proporcionalmente antes de la celda B, entonces se puede suponer razonablemente que la celda A podría continuar cargando más allá de EOC durante un período igual a La diferencia de tiempo entre las celdas A y B que alcanzan sus puntos de inflexión.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga (100) entre por lo menos dos celdas, o módulos de celdas, A y B de una pluralidad de celdas de azufre litio dispuestas en serie, durante la carga de las celdas a una corriente constante en la que cada una de la pluralidad de celdas de azufre litio exhibe un mecanismo de carga de dos etapas, en el que durante una primera etapa de carga en la que el sulfuro de litio en las celdas se oxida a polisulfuro de litio, el voltaje de la celda permanece relativamente constante en una meseta, y en el que, cuando las celdas transición a una segunda etapa de carga en la que el polisulfuro de litio se oxida adicionalmente a litio y azufre, la tasa de cambio de voltaje aumenta considerablemente, el aparato comprende:
- un temporizador (112)
- un módulo (113) de monitorización de voltaje configurado para monitorizar un voltaje caer a través de cada una de las celdas de azufre litio o módulos de celdas dispuestos en serie según las señales recibidas de un circuito de monitorización de voltaje; y
- un módulo (114) de monitorización de celda acoplado al temporizador y al módulo de monitorización de voltaje y caracterizado por estar configurado para, durante un ciclo de carga en el que las celdas se cargan a la corriente constante:
- registrar una marca de tiempo T1 (Celda A) en la que el voltaje monitorizado de la primera celda, la celda A, que lidera la carga, alcanza un primer voltaje elegido V1 (Celda A), configurado para estar en la segunda etapa de carga;
- registrar una marca de tiempo T1 (Celda B) en la cual el voltaje monitorizado de la celda B después de la carga alcanza el primer voltaje elegido V1 (Celda A);
- registrar una marca de tiempo T2 (Celda A) en la que el voltaje monitorizado de la celda principal A alcanza un segundo voltaje elegido V2 (Celda A) establecido para estar substancialmente en una carga superior considerada;
- registrar un voltaje monitorizado V2 (Celda B) de la siguiente celda B en T2 (Celda A); y
- determinar, con base en por lo menos T1 (Celda A), T1 (Celda B), V2 (Celda A) y V2 (Celda B),
- un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B.
2. Aparato según la reivindicación 1, en el que el módulo de monitorización de celda se configura adicionalmente para determinar, como el indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B, una diferencia de tiempo relativa entre la duración para que la celda A se cargue a través del incremento de voltaje entre V₁ (Celda A) y V₂ (Celda A) y la duración proyectada para que la Celda B se cargue a través del mismo incremento de voltaje.
3. Aparato según la reivindicación 2, en el que el módulo de monitorización de celda se configura para calcular la diferencia de tiempo relativa entre la duración de la celda A y la celda B para cargar a través del mismo incremento de voltaje entre V₁ (Celda A) y V₂ (Celda A) utilizando la ecuación:
- $$\frac{(T_1(\text{Celda B}) - T_1(\text{Celda A})) - (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B}))}{\frac{dV}{dt}}$$
- en la que $\frac{dV}{dt}$ es un valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje.
4. Aparato según la reivindicación 3, en el que el valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje se calcula como la tasa promedio de cambio de voltaje a lo largo del tiempo para una celda de azufre litio del tipo correspondiente a la celda A desde el voltaje V₁ hasta el voltaje V₂ cuando se carga a la misma tasa de carga y eficiencia de carga que la celda B.
5. Aparato según la reivindicación 3, en el que el valor estimado de dV/dt sobre el incremento de voltaje se calcula como la tasa de cambio de voltaje promedio medida a lo largo del tiempo para la celda A o la celda B entre T₁ y T₂ para esa celda.
6. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 3, 4 o 5, en el que el módulo de monitorización de celda se configura adicionalmente para calcular, para una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B, la diferencia de tiempo relativa entre la duración para la celda A y la celda B para cargar a través del mismo incremento de voltaje entre V₁ (Celda A) y V₂ (Celda A) dividido por la duración de la Celda A para cargar a través del incremento de voltaje entre V₁ (Celda A) y V₂ (Celda A), es decir:

$$\frac{(T_1(\text{Celda B}) - T_1(\text{Celda A})) - (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda B}))}{T_2(\text{Celda A}) - T_1(\text{Celda A})} \bigg/ \frac{dV}{dt}$$

5 7. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de monitorización de celdas se configura adicionalmente para determinar el indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre celdas para cada una de la pluralidad de celdas de azufre litio conectadas en serie teniendo en cuenta la eficiencia de carga calculada como función de la capacidad estimada y la carga medida en el período de tiempo T1 a T2.

10 8. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de monitorización de celda se configura adicionalmente para determinar un grado de descarga o SOC relativo de una celda x de las celdas en T2 (Celda A) al calcular:

$$\frac{T_2(\text{Celda A})}{T_2(\text{Celda A}) + (V_2(\text{Celda A}) - V_2(\text{Celda x}))} \bigg/ \frac{dV}{dt}$$

15 9. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, para compensar los errores de medición de voltaje para una celda de la pluralidad de celdas, el módulo de monitorización de celda se configura adicionalmente para:

20 analizar las lecturas de voltaje monitorizadas para la celda a lo largo del tiempo para identificar un medidor voltaje de observación V_m de una característica de la curva de voltaje que se sabe que ocurre en el perfil de carga de las celdas de azufre de litio del mismo tipo que la Celda A a un voltaje V_f conocido cuando la celda se carga desde V_1 (Celda A) hacia V_2 (Celda A); y

25 calcular un error de medición de voltaje de la celda V_e como $V_m - V_f$;

en el que el módulo de monitorización de celda se configura para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para una celda de la pluralidad de celdas, un voltaje de observación medido V_m correspondiente a una característica de la curva de carga conocida mediante la prueba de las celdas de azufre litio que se producen en el perfil de carga a un voltaje V_f conocido entre V_1 y V_2 ; y

30 en el que la característica conocida de la curva de carga es un punto de inflexión, y en el que identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para una celda de la pluralidad de celdas, un voltaje de observación medido correspondiente al punto de inflexión de la curva de carga, el módulo de monitorización de celda se configura para:

35 registrar marcas de tiempo en las cuales la tasa de cambio del voltaje monitorizado para la celda dV/dt alcanza un conjunto de valores dados a medida que dV/dt aumenta y disminuye a ambos lados de la inflexión;

40 evaluar un momento en el que se produce un punto medio entre las marcas de tiempo correspondientes a los valores crecientes y decrecientes de dV/dt ; y

evaluar un voltaje monitorizado observado en el punto medio como un voltaje de observación monitorizado para el punto de inflexión.

45 10. Aparato según la reivindicación 9, en el que el módulo de monitorización de la celda se configura para identificar, en las lecturas de voltaje monitorizadas para la celda, un voltaje de observación medido correspondiente al punto en el que d^2V/dt^2 es máximo, lo cual se conoce a través de la prueba de las celdas de azufre litio que se producen en el perfil de carga a un voltaje conocido entre V_1 y V_2

50 11. Aparato según la reivindicación 8 y cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, el módulo de monitorización de la celda se configura para ajustar el cálculo de la capacidad cargada en T_2 (Celda A) en base a cualquier error de medición de voltaje V_e observado para obtener una capacidad cargada real para la celda.

55 12. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 9, 10 u 11, en el que el módulo de monitorización de celda se configura adicionalmente para: corregir los valores de voltaje monitorizados para una celda en base a cualquier error de medición de voltaje observado V_e para esa celda.

13. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente un módulo (115) de control de equilibrio de celdas para equilibrar una carga a través de una pluralidad de celdas, estando el módulo de control de equilibrio de celdas acoplado a un circuito de equilibrio de celdas operable por el módulo de control de

equilibrio de celdas para ajustar activa o pasivamente la carga relativa entre una o más de las celdas, el módulo de control de equilibrio de celdas también se acopla al módulo de monitorización de celdas y se configura para:

5 controlar el funcionamiento del circuito de equilibrio de celdas en un proceso de carga de corriente constante o en un proceso de descarga para hacer que el estado de carga atraviese una pluralidad de celdas se equilibre más con base en uno o más de:

10 uno o más valores, recibidos desde el módulo de monitorización de celdas, para un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre una pluralidad de celdas; y

10 uno o más valores, recibidos desde el módulo de monitorización de celdas, indicativos de un grado de variación de SOC de una o más de las celdas en la parte superior de la carga.

15 14. Instrucciones de almacenamiento de medios legibles por ordenador, que cuando se ejecutan por uno o más procesadores de un aparato monitorizan la capacidad relativa y el estado de carga entre por lo menos dos celdas, o módulos de celdas, A y B de una pluralidad de celdas de azufre litio dispuestas en serie, hacen que el procesador o procesadores implementen uno o más de los temporizadores, el módulo de monitorización de voltaje, el módulo de monitorización de celdas y el módulo de control de balance de celdas del aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

20 15. Un método para monitorizar la capacidad relativa y el estado de carga entre por lo menos dos celdas, o módulos de celdas, A y B de una pluralidad de celdas de azufre litio dispuestas en serie, durante la carga de las celdas a una corriente constante en la que cada una de la pluralidad de celdas de azufre litio exhibe un mecanismo de carga de dos etapas, en el que durante una primera etapa de carga en la que el sulfuro de litio en las celdas se oxida a polisulfuro de litio, el voltaje de la celda permanece relativamente constante en una meseta, y en el que, cuando las celdas hacen la transición a una segunda etapa de carga en la que el polisulfuro de litio se oxida adicionalmente a litio y azufre, la tasa de cambio de voltaje aumenta considerablemente, el método comprende el uso de:

30 un temporizador;

30 un módulo de monitorización de voltaje configurado para monitorizar una caída de voltaje a través de cada una de las celdas de azufre litio o módulos de celdas dispuestos en serie en base a las señales recibidas desde un circuito de monitorización de voltaje; y

35 un módulo de monitorización de celdas acoplado al temporizador y al módulo de monitorización de voltaje y configurado para, durante un ciclo de carga en el que las celdas se cargan a la corriente constante: registrar una marca de tiempo T1 (Celda A) en la cual el voltaje monitorizado de la primera la celda, la celda A, que lidera la carga, alcanza un primer voltaje elegido V1 (Celda A), configurado para estar en la segunda etapa de carga, en la que el método se caracteriza por las siguientes etapas:

40 registrar una marca de tiempo T1 (Celda B) en el cual el voltaje monitorizado de la celda B después de la carga alcanza el primer voltaje elegido V1 (Celda A);

45 registrar una marca de tiempo T2 (Celda A) en la cual el voltaje monitorizado de la celda principal A alcanza un segundo voltaje elegido V2 (Celda A) establecido para estar substancialmente en una carga superior considerada;

registrar un voltaje monitorizado V2 (Celda B) de la siguiente celda B en T2 (Celda A); y

50 determinar, con base en por lo menos T1 (Celda A), T1 (Celda B), V2 (Celda A) y V2 (Celda B),

un indicador métrico de una diferencia de capacidad relativa entre la celda A y la celda B.

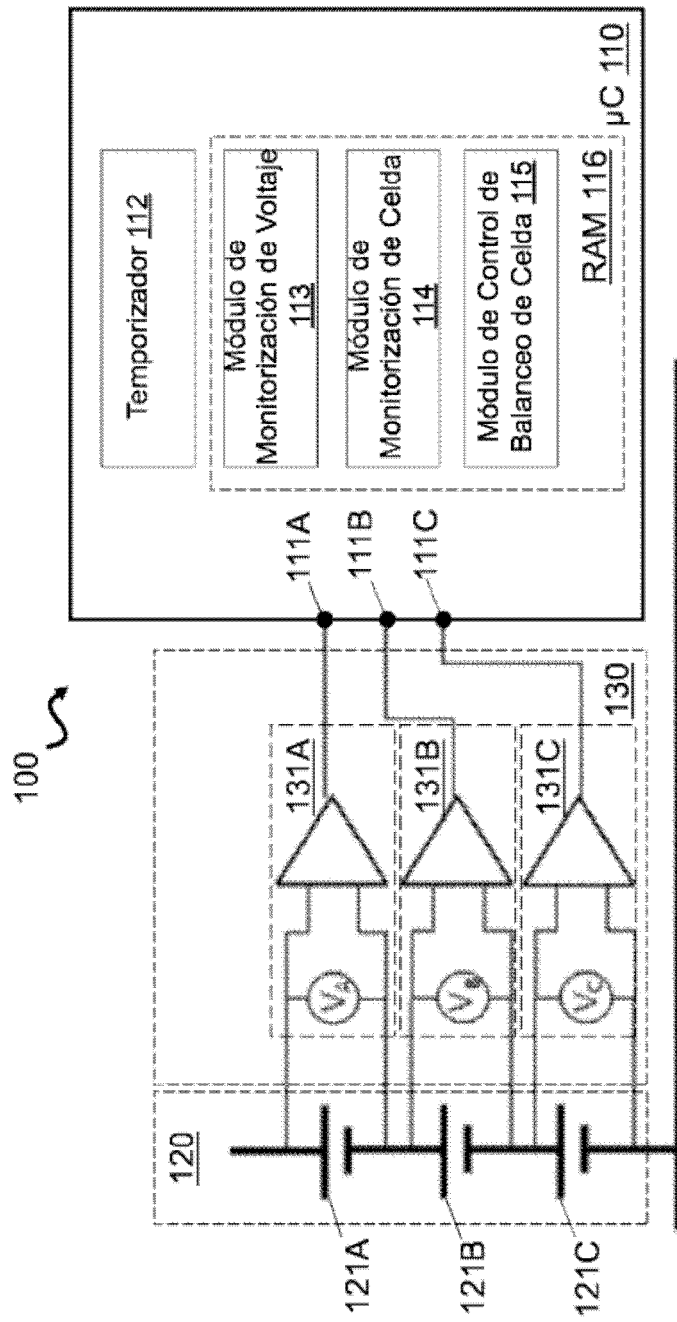


FIGURA 1

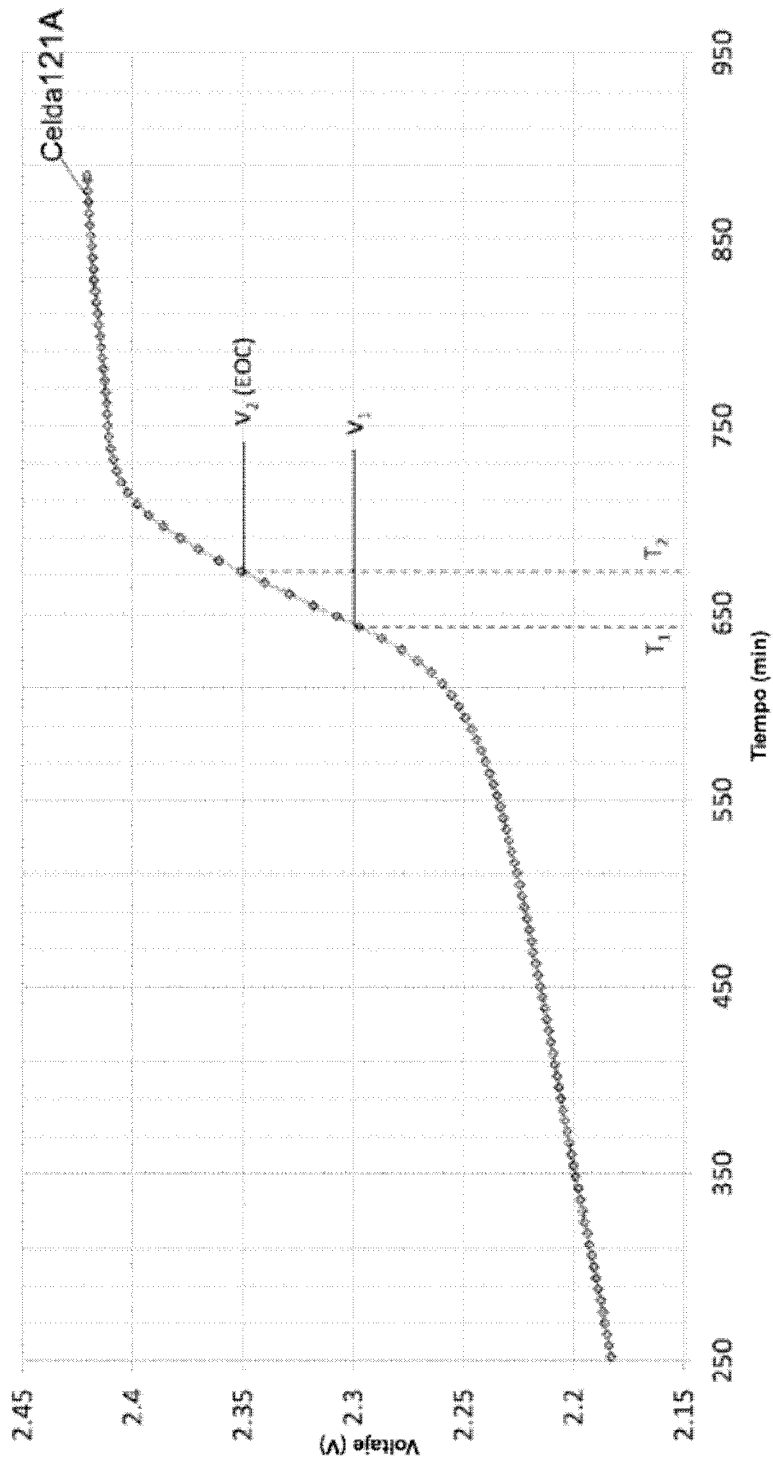


FIGURA 2

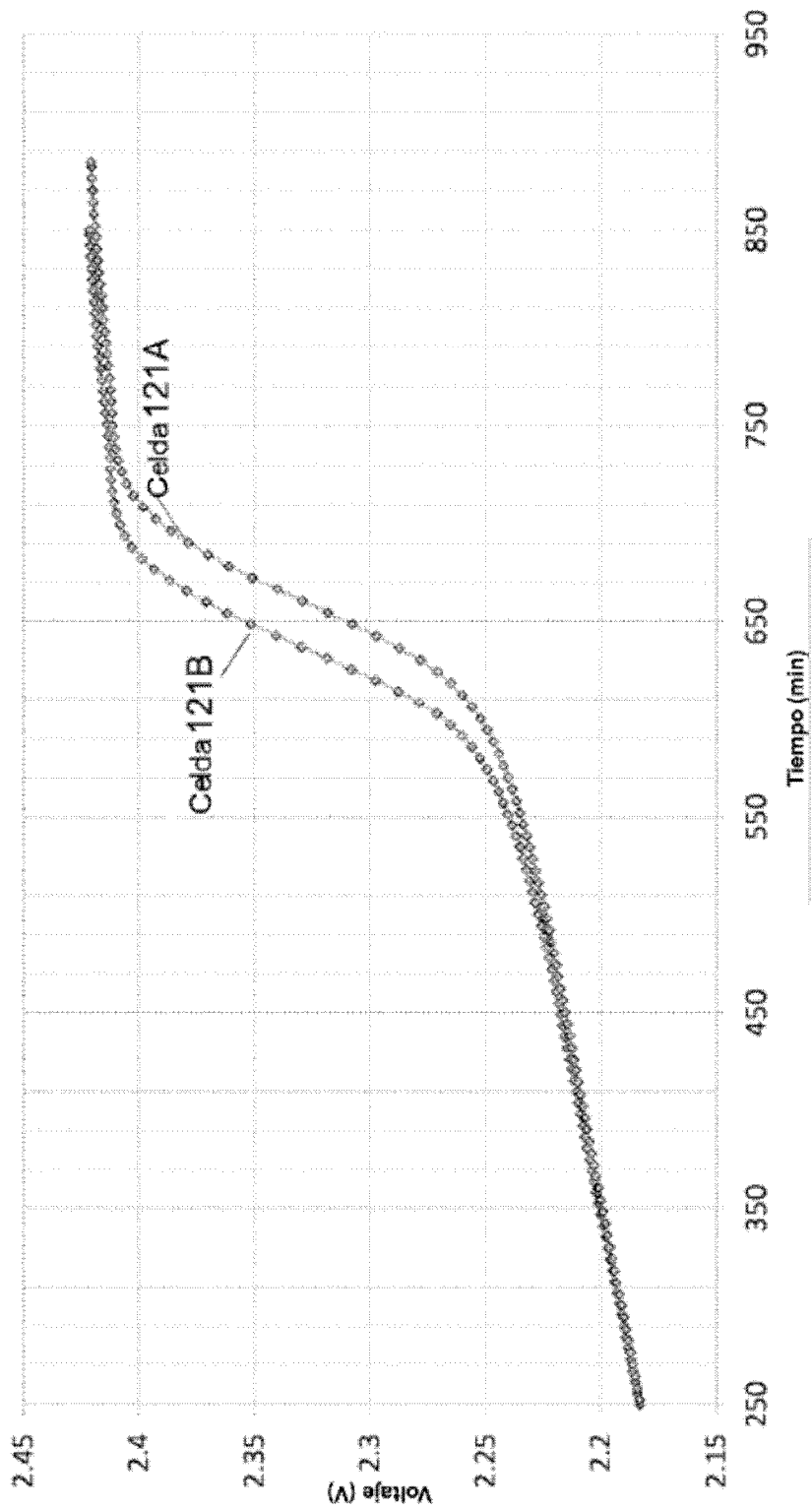


FIGURA 3

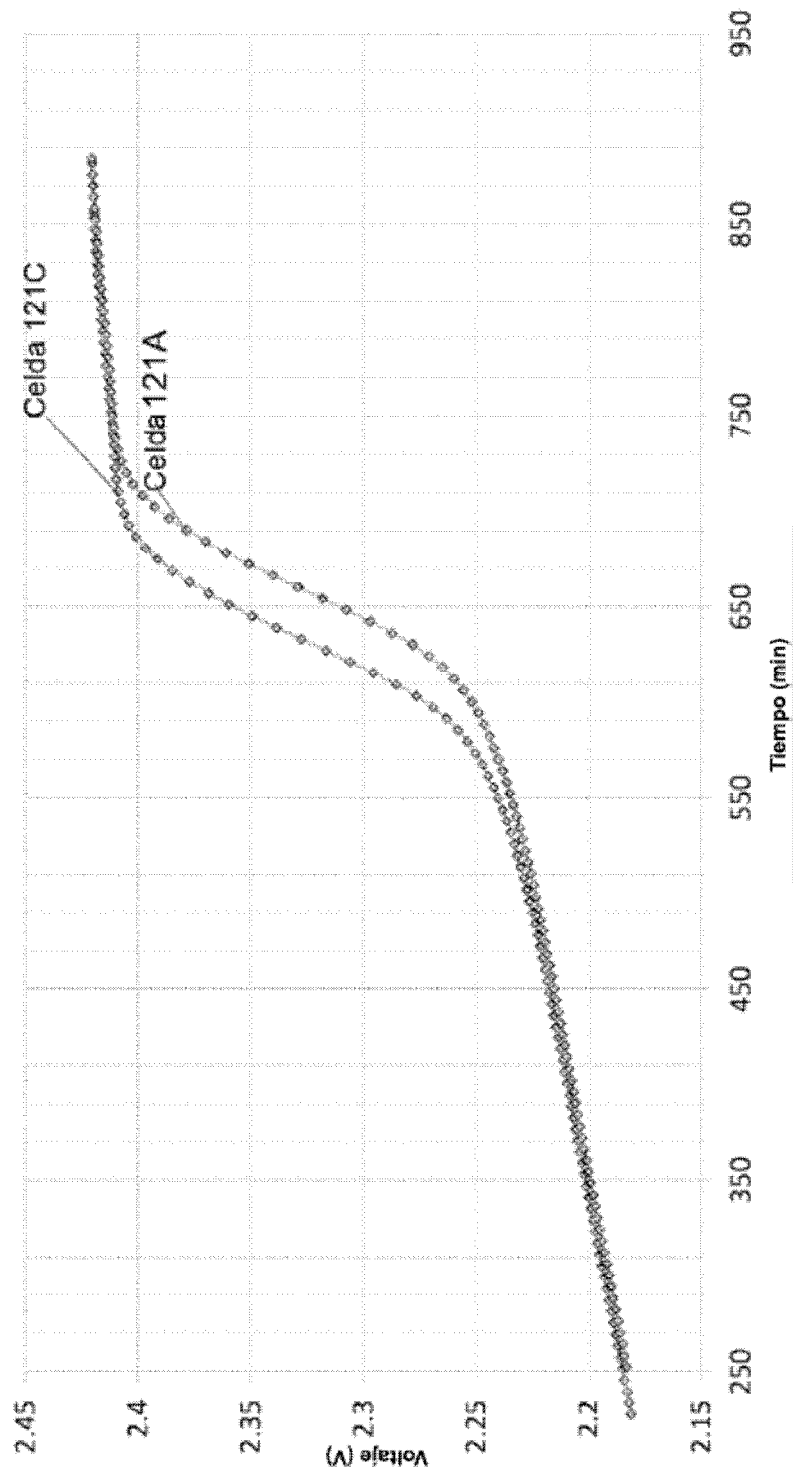


FIGURA 4

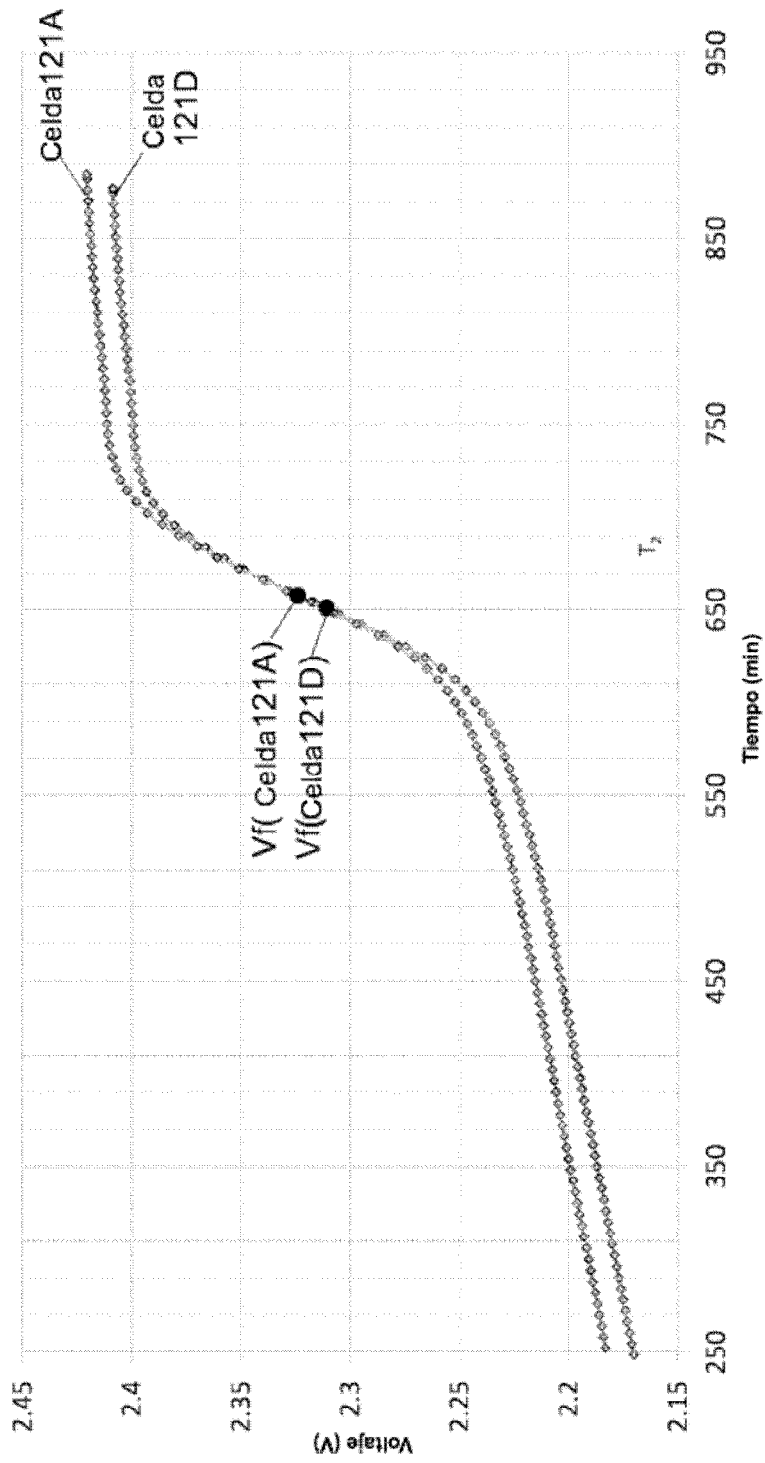


FIGURA 5

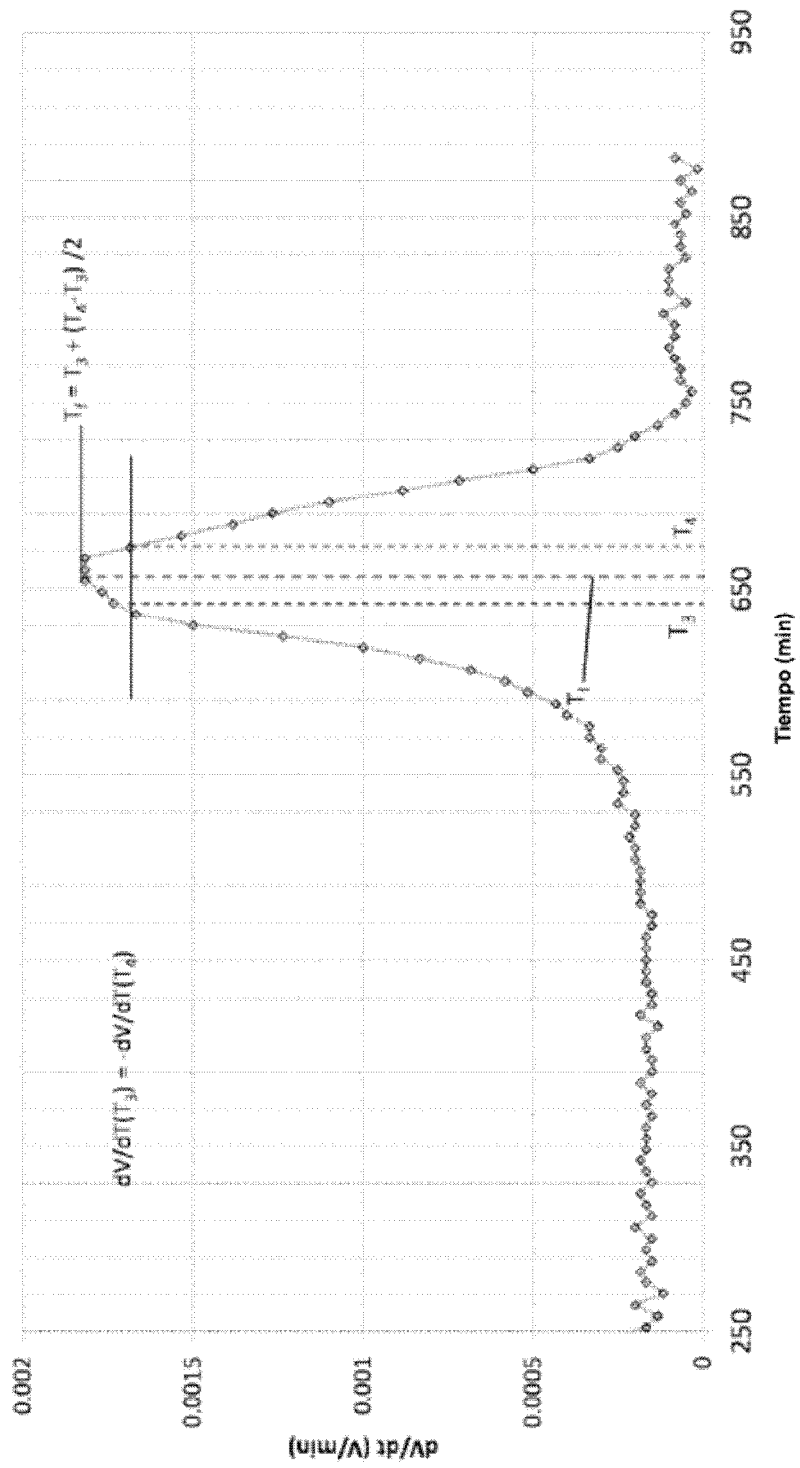


FIGURA 6

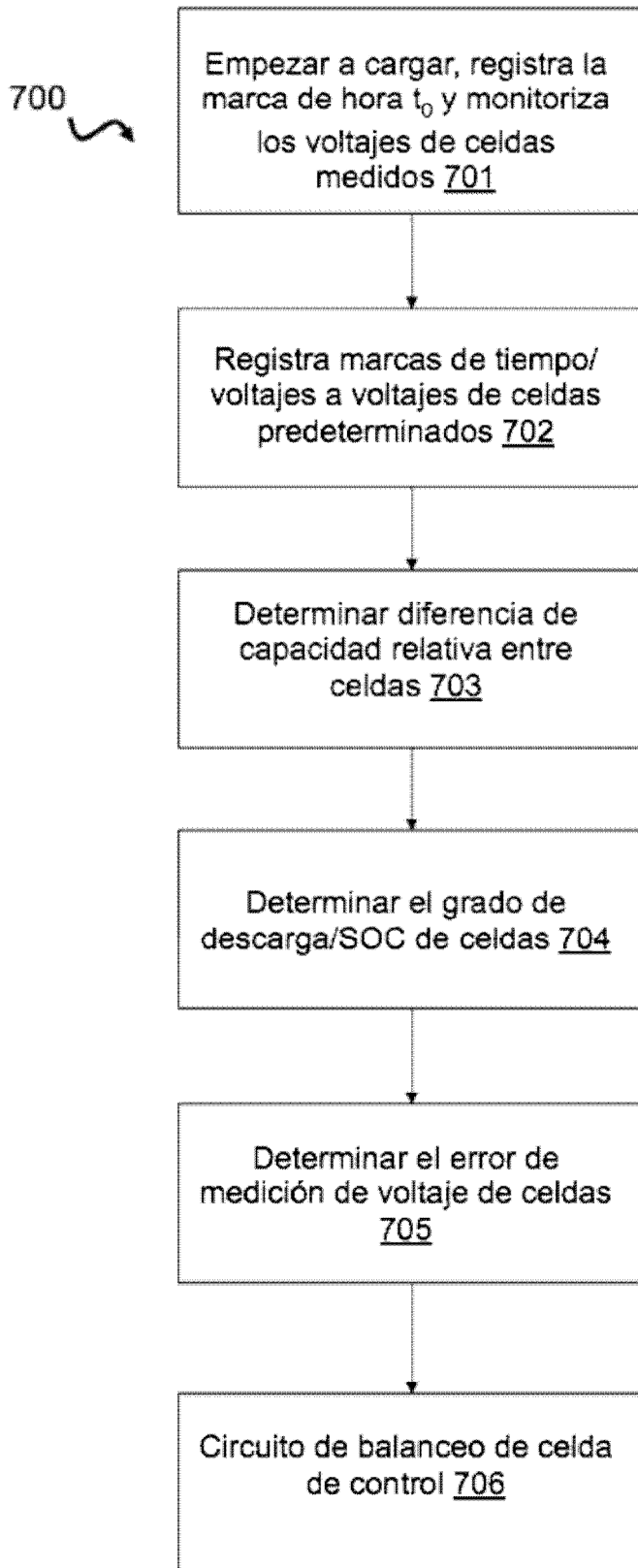


FIGURA 7