

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 913 252**

51 Int. Cl.:

**H02J 7/00** (2006.01)

**G01R 31/36** (2010.01)

**B60R 16/03** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.05.2017 PCT/EP2017/061631**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.11.2017 WO17194790**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2017 E 17726567 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.02.2022 EP 3455917**

54 Título: **Procedimiento y aparato de un sistema de gestión modular para celdas de almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

**13.05.2016 EP 16169726**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.06.2022**

73 Titular/es:

**VITO NV (50.0%)  
Boeretang 200  
2400 Mol, BE y  
VRIJE UNIVERSITEIT BRUSSEL (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ABDEL-MONEM, MOHAMED;  
HEGAZY, OMAR;  
OMAR, NOSHIN;  
TRAD, KHIEM y  
VAN MIERLO, JOERI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 913 252 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

Procedimiento y aparato de un sistema de gestión modular para celdas de almacenamiento de energía

La presente invención se refiere a sistemas, procedimientos y dispositivos de gestión tales como sistemas, procedimientos y dispositivos de gestión modular para supervisar, equilibrar y/o proteger un paquete de celdas de almacenamiento de energía tales como celdas de batería y para estimar el estado de una celda o celdas tales como el estado de salud (SoH) y/o el estado de carga (SoC) de una celda o celdas.

## Antecedentes/Estado de la técnica

Los sistemas de almacenamiento de energía recargable (RESS) desempeñan un papel importante en muchas aplicaciones, como las redes inteligentes y los vehículos eléctricos (EV). El rendimiento de los sistemas de gestión RESS necesita mejorar. Por ejemplo, las celdas de almacenamiento recargables en serie deben producir una tensión de salida suficientemente alta y la energía disponible se debe optimizar. Preferiblemente, se debe proporcionar un circuito de equilibrado para asegurar que el cambio de tensión y la capacidad de las celdas de almacenamiento recargables sea casi el mismo durante el proceso de carga y descarga. Además, se debe supervisar la tensión, la corriente y la temperatura para proteger el RESS contra la sobrecarga, la sobredescarga o el sobrecalentamiento.

Se requieren tres o cuatro funciones principales para cualquier BMS:

- 1) supervisar la tensión, la corriente y la temperatura,
- 2) equilibrar la tensión y la capacidad de las celdas de almacenamiento recargables,
- 3) estimar el SoH (State of Health) y/o el SoC (State of Charge) de cada celda, y
- 4) proteger opcionalmente el RESS contra la sobrecarga o sobredescarga o el sobrecalentamiento.

Los sistemas de gestión convencionales tienen un circuito de equilibrado pasivo o activo. Comercialmente, el equilibrado pasivo es popular. El equilibrado pasivo se puede utilizar para equilibrar la tensión y la capacidad de las celdas de energía de los sistemas de almacenamiento de energía recargable mediante el uso de múltiples resistencias que descargan el exceso de energía en las celdas de mayor energía durante las operaciones de carga y descarga. Sin embargo, este procedimiento desperdicia energía y provoca una subida de la temperatura local no deseada y, por lo tanto, se necesita un consumo de energía adicional para enfriar. Otro procedimiento que utiliza el equilibrado activo pierde menos energía, pero es un sistema complejo y costoso. Estos inconvenientes son provocados por los componentes adicionales (es decir, condensador o inductor con resistencias o convertidor CC/CC) que se necesitan para transferir energía desde celdas de mayor energía y después para inyectar esta energía en las celdas de menor energía.

Otro aspecto de RESS es detectar el estado de salud/la capacidad restante de las celdas de almacenamiento recargables. El estado de salud (SoH) es la capacidad de la celda de almacenamiento para almacenar y retener energía y, por lo tanto, si su rendimiento o salud se deteriora, se puede determinar.

Se han desarrollado diversos procedimientos para estimar el estado de salud de las celdas de almacenamiento de energía. La mayoría de ellos se basan en una prueba de capacidad o modelos exactos, que dependen de las características electroquímicas y la dinámica de la celda de almacenamiento. La estimación del SoH basada en la prueba de capacidad necesita un tiempo de prueba prolongado (> 2hr) debido al hecho de que la celda debe someterse a un proceso de carga y descarga. Además, el coste de la unidad de medida se ve afectado por la corriente de carga/descarga, que depende de la capacidad nominal de la celda probada.

En el caso de que se utilice un modelo dinámico, su exactitud puede incrementarse si un modelo de sistema está constituido por circuitos equivalentes de orden superior, pero este es un uso práctico demasiado complejo.

En la bibliografía se han informado varios estudios sobre el diseño de un BMS para batería de la siguiente manera: la solicitud de patente estadounidense con n.º 2014/0097787 describe un BMS para equilibrar activamente las tensiones y las capacidades del paquete de baterías. Una matriz de unidades de transferencia de potencia, que se integran en paralelo y se conectan individualmente a las celdas del paquete de baterías para equilibrar las celdas. Sin embargo, como la mayoría de los estudios anteriores, existe una relación directamente proporcional entre la complejidad y la eficacia del circuito. Por ejemplo, el BMS se puede diseñar para disminuir la pérdida de energía y calor, pero se debe usar un circuito complejo mediante el uso de componentes adicionales como unidades de transferencia de potencia, elementos de almacenamiento y conmutadores.

Para aclarar los intentos anteriores de diseñar el BMS, se deben investigar las dos partes: el modo de equilibrado y el modo de prueba (estimación del SoH y/o del SoC).

En el caso de equilibrado, la solicitud de patente estadounidense con n.º 2014/0232346 describe un sistema que incluye un circuito de equilibrado de celda activa configurado para equilibrar múltiples celdas de potencia conectadas en serie dentro de un solo módulo.

A modo de ejemplo adicional, la solicitud de patente estadounidense con n.º 2013/0093248 describe que múltiples baterías están conectadas en serie mediante el uso de un circuito de equilibrado activo. El circuito de equilibrado activo incluye un circuito de resonancia LC y múltiples conmutadores configurados para acoplar de forma selectiva diferentes baterías al circuito de resonancia LC.

- 5 Una desventaja de estos sistemas es que necesitan un tiempo de equilibrado relativamente largo en comparación con el circuito de equilibrado pasivo. Además, la complejidad del sistema aumenta debido al uso de elementos de almacenamiento, tales como un inductor y/o un condensador con los accesorios necesarios.

- Algunos sistemas de baterías utilizan un circuito simple para equilibrar las baterías. Estos sistemas se describen, por ejemplo, en la solicitud de patente estadounidense con n.º 2013/0293006, que describe que se puede utilizar una conexión en paralelo para equilibrar baterías conectadas en serie. Sin embargo, se necesitan resistencias adicionales para controlar la corriente y el tiempo de equilibrado, y también se deben usar conmutadores adicionales para cambiar la conexión de la celda de conexión en serie a conexión en paralelo. En la solicitud de patente estadounidense con n.º 2014/0145651, la presente invención se refiere a un circuito que permite equilibrar celdas con una complejidad de circuito reducida mediante el uso de una sola resistencia. Sin embargo, cuando se implementa solo una técnica del equilibrado pasivo, no hay un efecto significativo provocado por la reducción del número de resistencias en la pérdida de energía y de calor del circuito de equilibrado.
- 10
- 15

- En el caso del modo de prueba, en algunos sistemas de supervisión de baterías anteriores, es necesario realizar una prueba indeseablemente larga para evaluar el SoH de la batería. Este es especialmente el caso de los sistemas, que requieren que la batería sometida a prueba esté completamente cargada antes de que se pueda realizar una medición del estado de salud. Como ejemplo la solicitud de patente estadounidense con n.º 5.977.750 describe un sistema para calcular el SoH de la batería mediante el seguimiento de la degradación de la capacidad de carga completa de una batería con ciclos.
- 20

- Algunos sistemas de supervisión de baterías miden una serie de parámetros electroquímicos y utilizan lógica difusa para calcular el estado de salud de la batería como se describe en la solicitud de patente estadounidense con n.º 7.072.871. A modo de ejemplo adicional, la solicitud de patente estadounidense con n.º 2011/0060538 describe que el SoH de la batería se puede estimar calculando un intervalo de tensiones tomando la convolución de una corriente terminal de la batería química con un intervalo de respuestas a un impulso a partir de una tabla de búsqueda de respuestas a un impulso correspondientes a diferentes estados de salud. En la solicitud de patente estadounidense con n.º 2014/0306712, la invención describe que se determinan dos niveles de tensión y una impedancia de la batería. Se utiliza una tabla de impedancias de la batería para calcular el SoC y el SoH de los sistemas de la batería.
- 25
- 30

Una desventaja de estos sistemas de supervisión de baterías es que necesitan almacenar el historial de los parámetros para esa batería en particular y, por lo tanto, aumentan la complejidad del sistema.

- El diagnóstico a bordo (OBD) es un término técnico de la industria del automóvil. Se refiere a la función de autodiagnóstico y generación de informes de un vehículo que permite acceder al estado de los diversos subsistemas del vehículo al técnico de reparación de vehículos. El sistema OBD se introdujo a principios de la década de 1980 y se ha desarrollado en función de los cambios en los ordenadores instalados a bordo de vehículos. Los sistemas OBD recientes utilizan un puerto de comunicaciones digitales estandarizado para proporcionar datos en tiempo real, además de una serie estandarizada de códigos de diagnóstico de problemas, o DTC, que permiten identificar y corregir rápidamente averías en el funcionamiento del vehículo. Algunos sistemas de supervisión de baterías miden la impedancia de CA a 1 kHz mediante el uso de señales sinusoidales muy pequeñas. La impedancia de CA a esta frecuencia también se denomina "impedancia de resonancia" y se ha intentado encontrar una relación entre la salud de la batería y la impedancia de resonancia. Estos sistemas se describen, por ejemplo, en Kazuhiko. T, Quick testing of batteries in lithium-ion battery packs with impedance-measuring technology, Journal of power sources 128 (2004) 67-75. Sin embargo, se necesitan componentes externos (es decir, un generador de funciones con conmutadores) para aplicar una pequeña señal sinusoidal a fin de calcular la impedancia de CA de la celda de batería. Además, solo se utiliza un tipo de batería de iones de litio para "demostrar" que existe una regresión lineal entre la impedancia de resonancia y la capacidad restante de la batería. En la práctica, debido al uso de una señal sinusoidal muy pequeña, se necesita un filtro avanzado para eliminar la influencia del ruido y la interferencia de los dispositivos circundantes.
- 35
- 40
- 45

- En el documento EP2490315A1, se describe un módulo de equilibrado de celdas en el que se utiliza una resistencia para el equilibrado pasivo y en el que también se puede utilizar un cargador externo, concretamente, un convertidor de potencia CC-CC para suministrar cargas a la batería. Todas las celdas de la batería están conectadas en serie.
- 50

En el documento US8648602B2, se describe un sistema de detección de impedancia para una batería. Se describe un circuito de inyección dedicado para inyectar corriente por separado en celdas de batería individuales con fines de prueba.

- En el documento US7274170B2 se describe un módulo de control del paquete de baterías en el que se utiliza una resistencia de descarga para equilibrar las celdas conectadas en serie del paquete de baterías.
- 55

## Objetivo/Propósito

Sigue existiendo la necesidad de desarrollar un procedimiento, sistema y dispositivo de gestión de celdas de almacenamiento de energía, preferiblemente de forma modular que, por ejemplo, como una opción mejora una o más desventajas de la técnica anterior. Las realizaciones de la presente invención abordan estas ventajas tales como proporcionar uno o ambos de estos:

1. Los modos de equilibrado pasivo/activo y de prueba (p. ej., una prueba de diagnóstico para estimar el SoH/SoC) se realizan de manera eficaz sin usar fuentes externas o componentes adicionales (p. ej., un condensador o inductor) gracias a una disposición de dispositivos de conmutación dedicados que utilizan dispositivos bidireccionales y conmutadores unidireccionales opcionalmente conectados a un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia.

2. Un sistema de equilibrado de celdas simple y modular, que se puede utilizar para una amplia variedad de diferentes diseños de celdas de almacenamiento de energía, tal como algunas o todas las tecnologías de batería para realizar el equilibrado de tal manera que la pérdida de calor sea baja o menor y/o hay un consumo energético bajo o menor;

3. Una prueba eficaz, que se puede utilizar de forma rápida, fiable y sencilla, por ejemplo, como una comprobación del estado de OBD sin utilizar una fuente externa, por ejemplo, para estimar el SoH y/o del SoC de las celdas de almacenamiento de energía o de paquetes de celdas tales como las baterías.

## Compendio de la invención

En un aspecto de la presente invención, las realizaciones se refieren a un procedimiento, sistema y dispositivos de gestión para sistemas de almacenamiento de energía recargable (RESS) multicelulares. En realizaciones de la presente invención, la misma configuración se puede utilizar para supervisar y/o proteger y/o equilibrar y/o cargar y/o someter a prueba y/o controlar un RESS que comprende celdas de energía recargables. Por ejemplo, las celdas RESS se pueden conectar en serie. En otras realizaciones de la presente invención se proporcionan procedimientos, sistemas y dispositivos para realizar el equilibrado de las celdas con las ventajas de una menor pérdida de energía y, por tanto, una disminución de la pérdida de calor, lo que da como resultado un sistema de enfriamiento compacto opcionalmente de baja potencia para un circuito de equilibrado.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un sistema de gestión como un sistema de gestión modular que comprende conmutadores bidireccionales y unidireccionales conectados a un dispositivo de disipación de la energía, por ejemplo, un dispositivo óhmico individual, tal como una resistencia para ejecutar eficazmente un equilibrado pasivo/activo, y un modo de prueba para la estimación del SoH/SoC que se puede describir como un proceso de función dual (DFP) preferiblemente sin utilizar ningún componente adicional o externo (es decir, condensador o inductor o convertidor CC/CC o fuente de alimentación).

Las realizaciones de la presente invención describen un sistema de gestión como un sistema de gestión modular para dispositivos de almacenamiento de energía recargables que comprende:

celdas de almacenamiento de energía conectadas en serie,

un medio de división de celdas tales como un circuito de división de celdas para dividir o separar las celdas de energía conectadas en serie en grupos de celdas, el medio de división de celdas o el circuito de división de celdas que comprende unos primeros dispositivos de conmutación bidireccionales; y

una unidad de control,

el sistema que comprende: un circuito de selección de modo que comprende los primeros dispositivos de conmutación unidireccionales, los primeros dispositivos de conmutación unidireccionales del circuito de selección de modo que están adaptados y configurados para permitir la selección de un modo de gestión seleccionado entre cualquiera de un modo de equilibrado o un modo de prueba o un modo de carga o un modo de funcionamiento de descarga,

que además comprende un circuito de equilibrado de la corriente que tiene unos segundos dispositivos de conmutación bidireccionales, una corriente de equilibrado, que puede extraerse o inyectarse en una cualquiera o más de las celdas de energía recargables que pasan a través del circuito de equilibrado de la corriente, los segundos dispositivos de conmutación bidireccionales que están adaptados para permitir que unidad de control seleccione una corriente de equilibrado para que fluya desde o hacia una celda.

En realizaciones de un circuito o procedimiento de equilibrado, se utiliza un dispositivo óhmico, tal como una resistencia (o se utiliza un número limitado de dispositivos óhmicos, p. ej., menos de cinco o menos de tres) para lograr el equilibrado de una o más celdas de almacenamiento de energía, tales como baterías en un paquete mediante el uso de dos modos de equilibrado:

1) realizaciones en modo de equilibrado pasivo, por ejemplo, con un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia, y,

- 2) realizaciones con un modo de equilibrado RESS con alimentación interna que incluyen realizaciones conectadas en serie y en paralelo. Las realizaciones del equilibrado pasivo funcionan tanto en la carga como en la descarga para equilibrar al menos parcialmente las celdas de energía recargables, tales como las baterías. Estas realizaciones pueden mantener las diferencias de capacidad y tensión alrededor de un límite de umbral gracias a una disposición de dispositivos de conmutación dedicados. Por lo tanto, las celdas de almacenamiento de energía recargables pueden protegerse contra la sobrecarga o la descarga excesiva durante la carga rápida y la descarga profunda, respectivamente. Al usar el mismo dispositivo óhmico, p. ej., un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia, gracias a la disposición de los dispositivos de conmutación dedicados, el modo de equilibrado RESS con alimentación interna, incluidas las realizaciones del equilibrado en serie y en paralelo, puede utilizar una parte o la mayor parte de, o todo un tiempo de reposo (tiempo de inactividad) para equilibrar completamente las tensiones y las capacidades de las celdas de energía recargables cambiando las conexiones de las celdas, p. ej., de serie a paralelo. Se puede usar la misma configuración para la estimación del SoH mediante el uso del modo de prueba de la impedancia de CA. Diferentes topologías RESS pueden integrarse y usarse juntas en el mismo sistema de almacenamiento de energía mediante el uso de realizaciones de la presente invención.
- Las realizaciones de la presente invención proporcionan sistemas, procedimientos y dispositivos para módulos/paquetes RESS multicelulares. Los módulos/paquetes RESS multicelulares se usan comúnmente en aplicaciones tales como: dispositivos electrónicos, equipos médicos, aplicaciones automotrices y estacionarias, y en vehículos de transporte para conectar celdas de almacenamiento de energía recargables conectadas en serie. Con estos paquetes/módulos RESS multicelulares, se puede producir un desequilibrio de las celdas y algunas celdas de almacenamiento de energía recargables pueden envejecer más rápido que otras. El desequilibrio puede producirse, por ejemplo, debido a ligeras diferencias en el SoC, en la tasa de autodescarga, en la capacidad, en la impedancia o en las características de temperatura de las celdas de almacenamiento de energía recargables que están conectadas en serie. Incluso para las celdas que tienen la misma tecnología del mismo fabricante e incluso proceden del mismo lote de producción, es posible que el envejecimiento no sea uniforme para todas las celdas.
- Por ejemplo, la desigualdad de las tasas y niveles de envejecimiento puede proceder de una variación muy pequeña en el dimensionamiento o una composición química o un efecto de distribución de temperatura durante el funcionamiento. Como resultado, la resistencia interna de estas celdas de almacenamiento de energía recargables puede aumentar, lo que con el tiempo puede dar lugar a que fallen. Si solo falla una celda de almacenamiento, todo el módulo también falla debido a la conexión en serie. Por lo tanto, debe utilizarse un sistema de gestión eficaz para asegurar que todas las celdas de almacenamiento recargables envejezcan al mismo ritmo. De forma alternativa, las celdas de almacenamiento de energía, como las baterías, pueden desarrollar una autodescarga, una distribución de corriente irregular y un cortocircuito interno. Esto puede resultar en un sobrecalentamiento de la celda e incluso en una explosión.
- Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar uno o más de los siguientes:
- procedimientos, y/o sistemas y/o dispositivos de equilibrado RESS, que proporcionan un equilibrado con pérdida de energía y/o calor baja o menor;
  - un sistema y/o procedimiento y/o dispositivo de enfriamiento simplificado para un circuito de equilibrado con el fin de reducir el consumo de energía y, opcionalmente, reducir el coste total de funcionamiento;
  - disposición de un proceso de función dual (DFP), lo que significa dividir o separar el paquete de celdas de energía recargables, tal como un paquete de baterías, en dos o más módulos independientes (aislados), cada uno de los cuales comprende celdas del paquete de celdas de energía recargables, tal como un paquete de baterías. Cada módulo dividido está configurado para desempeñar una función dual, tal como una fuente de alimentación de CC por sí mismo, y cada uno de esos módulos se puede usar como un medio para equilibrar y/o aplicar un pulso de CC (p. ej., sin usar una alimentación externa) a otro módulo de este tipo en un RESS para llevar a cabo una prueba de diagnóstico, como p. ej. estimar el SoC o el SoH de la(s) celda(s) de almacenamiento gracias a la disposición de los conmutadores dedicados (conmutadores bidireccionales y unidireccionales conectados opcionalmente a un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia);
  - disposición de un circuito, sistema y/o procedimiento de equilibrado modular, que se puede utilizar para equilibrar diferentes tecnologías RESS;
  - disposición de un procedimiento de prueba genérico y/o rápido y/o simple, y/o sistema de prueba y/o dispositivo de prueba para estimar el SoH o el SoC de celdas de energía recargables tales como baterías;
  - disposición de un procedimiento y/o sistema y/o dispositivo RESS flexible que pueda integrarse con diferentes tipos de convertidores electrónicos de potencia.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan, por ejemplo, uno, algunos o todos de:

- Un sistema y/o procedimiento y/o dispositivo de gestión modular para celdas de almacenamiento de energía recargables o paquetes de celdas con una nueva configuración, mediante el uso de conmutadores bidireccionales y unidireccionales opcionalmente conectados a un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia.
- 5 • Un sistema y/o procedimiento y/o dispositivo de gestión modular que comprende un grupo de conmutadores (como conmutadores bidireccionales y/o unidireccionales), por ejemplo, con un dispositivo óhmico individual tal como una primera resistencia para proporcionar un circuito flexible y/o sistema y/o procedimiento que permite el funcionamiento para diferentes aplicaciones y/o permite la integración con otros circuitos. Además, opcionalmente, se puede conectar un segundo dispositivo óhmico, tal como una resistencia, en paralelo con el dispositivo óhmico individual, tal como la primera resistencia, para cambiar la resistencia interna del circuito de equilibrado y, por lo tanto, la tasa de equilibrado.
- 10 • Un sistema y/o procedimiento y/o dispositivo de almacenamiento de energía para aplicaciones a pequeña y gran escala con buena, p. ej., alta eficacia.
- El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular puede comprender conmutadores bidireccionales y unidireccionales conectados, por ejemplo, a un dispositivo óhmico individual, tal como una resistencia, para gestionar eficazmente las celdas de almacenamiento de energía recargables durante el proceso de funcionamiento y el tiempo de reposo inactivo.
- 15 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular puede comprender conmutadores bidireccionales y unidireccionales con, por ejemplo, un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia utilizada para proteger las celdas de almacenamiento de energía recargables que están conectadas mediante una disposición de conmutadores en serie.
- 20 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular puede comprender conmutadores bidireccionales y unidireccionales con, por ejemplo, un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia adaptada para realizar dos modos de equilibrado para evitar cualquier desequilibrio entre las celdas de almacenamiento de energía recargables.
- 25 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular puede comprender conmutadores bidireccionales y unidireccionales con, por ejemplo, un dispositivo óhmico individual, tal como una resistencia utilizada con un grupo de celdas, por ejemplo, para proporcionar un DFP para un modo de prueba mediante la aplicación de una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas.
- 30 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular adaptado para realizar dos modos de equilibrado que proporcionan un modo de equilibrado pasivo durante la carga y la descarga, y un modo de equilibrado con alimentación interna que incluye un modo en serie y en paralelo durante un tiempo de reposo inactivo.
- El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular en el que el modo de equilibrado pasivo está adaptado para proteger las celdas de almacenamiento de energía recargables contra la sobrecarga o la sobredescarga.
- 35 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular puede comprender un modo de equilibrado con alimentación interna que incluye un modo en serie y en paralelo que se adapta para completar el equilibrado de las celdas de almacenamiento de energía recargables durante un tiempo de reposo inactivo.
- 40 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular en el que se adapta el modo de prueba (opcionalmente basado en un DFP) para aplicar una señal de corriente de excitación (por ejemplo, una modulación de onda cuadrada o cuasi cuadrada o de ancho de pulso). Posteriormente, se mide una señal de la tensión de respuesta sin usar alimentación externa. A continuación, estas señales se convierten del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante el uso de una serie de formas de onda ortogonales, tal como en la transformada discreta de Fourier, para calcular la impedancia de CA en función de los niveles de frecuencia.
- 45 • El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular en el que se mide la impedancia de CA para proporcionar un valor de una impedancia interna de las celdas de almacenamiento de energía recargables, especialmente la impedancia de CA a 1 kHz, que se denomina impedancia de resonancia.
- El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión en el que se calcula la impedancia de resonancia y se utiliza para estimar el SoH o el SoC de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante un modelo genérico de envejecimiento. El modelo genérico de envejecimiento puede relacionar la impedancia de resonancia con el estado de carga. Por ejemplo, en el modelo, la impedancia de resonancia se puede definir mediante:  $R_{im} = A + \frac{B}{\sqrt{SoH+C}}$ ; en el cual A, B y C son constantes.
- 50

- El sistema, procedimiento o dispositivo de gestión modular puede integrarse en una red mediante el uso de una sola etapa, una etapa doble o un convertidor multipuerto y/o multinivel.

- Un sistema de gestión modular para sistemas de almacenamiento de energía recargable que comprende celdas de almacenamiento de energía conectadas entre sí en una matriz de celdas, el sistema que comprende: una unidad de control para decidir el modo de funcionamiento, tal como el modo de equilibrado, prueba o protección, una matriz de sensores de tensión para medir una tensión de cada celda en el paquete de almacenamiento de energía individualmente, un sensor de corriente para determinar si el tipo de funcionamiento del paquete de almacenamiento de energía es carga, descarga o reposo, conmutadores controlables para seleccionar un modo de equilibrado para las celdas o un modo de prueba para las celdas, el modo de equilibrado que es uno de pasivo, equilibrado en serie y en paralelo y un controlador que recibe la salida de los sensores de tensión y corriente y para controlar los conmutadores controlables de modo que cuando las celdas se cargan o se descargan, las salidas de los sensores de tensión se envían al controlador, y en base a una comparación de las salidas recibidas, el controlador se adapta para iniciar el modo de equilibrado pasivo, y cuando el modo de funcionamiento está en reposo, el controlador se adapta para iniciar el modo de equilibrado en serie y en paralelo seguido de un modo de prueba para estimar el SoH y/o el SoC.

- Los conmutadores controlables pueden incluir conmutadores unidireccionales y bidireccionales.

- Los conmutadores unidireccionales se pueden utilizar para seleccionar los modos de funcionamiento (pasivo o serie-paralelo o prueba).

- Los conmutadores bidireccionales se pueden usar para controlar la dirección actual desde o hacia la celda según el modo de funcionamiento y también para dividir el paquete.

- Los modos de equilibrado se pueden realizar, por ejemplo, con un dispositivo óhmico individual en serie gracias a la disposición de los conmutadores inteligentes.

- Se puede llevar a cabo un modo de prueba, por ejemplo, mediante el uso de un proceso de función dual (DFP) para evitar el uso de una alimentación externa gracias a la disposición de los conmutadores dedicados (conmutadores bidireccionales y unidireccionales conectados opcionalmente a un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia) con el objetivo de estimar el SoH y/o el SoC.

- Un modo de protección puede incluir desconectar el paquete de baterías en caso de fallo.

- La unidad de control se puede conectar a los circuitos de interfaz mediante el uso de la unidad de comunicación para visualizar el estado y el rendimiento de un paquete.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan un sistema, procedimiento o dispositivo que se puede utilizar para diferentes aplicaciones, por ejemplo, cualquiera de las siguientes:

- Conexión de primera vida, es decir, nuevas celdas de almacenamiento de energía, tales como en módulos de almacenamiento de baterías para aplicaciones de redes inteligentes de automóviles;

- Conexión de celdas de almacenamiento de energía de segunda vida, como en módulos de batería, que se eliminan de las aplicaciones de automoción, a otras aplicaciones de redes inteligentes;

- Integrar diferentes tecnologías de almacenamiento de energía recargable en una aplicación específica.

- Integración flexible con un sistema de almacenamiento de energía auxiliar, tal como en un sistema de almacenamiento de batería y sistemas de energía renovable (p. ej., turbina eólica, generación de energía mareomotriz, sistemas de generación de calor o electricidad geotérmica, o fotovoltaica o similar), mediante la disposición de dispositivos de conmutación bidireccionales y/o conmutación unidireccionales dedicados que incluyen un circuito de selección de modo y un circuito de equilibrado de la corriente.

Una invención independiente incluye un sistema, procedimiento o dispositivo para la estimación del SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante el uso de un modelo genérico de envejecimiento. El modelo genérico de envejecimiento puede relacionar la impedancia de resonancia con el estado de carga. Por ejemplo, en el

modelo, la impedancia de resonancia se puede definir mediante:  $R_{im} = A + \frac{B}{\sqrt{SoH+C}}$ ; en el cual A, B y C son constantes.

En otro aspecto, se proporciona un sistema de gestión o un sistema de gestión modular para dispositivos de almacenamiento de energía recargables que comprende celdas de almacenamiento de energía conectadas en serie, conmutadores bidireccionales y unidireccionales conectados a un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia para ejecutar eficazmente un proceso de función dual (DFP) (p. ej., equilibrado pasivo/activo y modo de prueba para la estimación del SoH/SoC) preferiblemente sin usar ningún componente adicional o externo.

El DFP proporciona la división o separación del paquete de celdas de energía recargable, tal como un paquete de baterías, en dos o más módulos independientes, cada módulo dividido desempeña una función dual, como por ejemplo, ser una fuente de alimentación de CC. Cada módulo de este tipo se puede utilizar como un medio para equilibrar y/o aplicar un pulso de CC (sin utilizar alimentación externa) a otro módulo de este tipo en un RESS para

5 estimar un estado como el SoH de la(s) celda(s) de almacenamiento gracias a una disposición de conmutadores dedicados (p. ej., conmutadores bidireccionales y unidireccionales preferiblemente conectados a un dispositivo óhmico individual tal como una resistencia); y una unidad de control.

En otro aspecto, se proporciona un sistema para su uso en cualquiera de las realizaciones de la presente invención que comprende: un circuito de selección de modo que comprende dispositivos de conmutación bidireccionales y unidireccionales opcionalmente conectados a una resistencia individual, estando adaptados y configurados los conmutadores unidireccionales del circuito de selección de modo para permitir la selección de un modo de gestión

10 seleccionado entre un modo de equilibrado o un modo de prueba o un modo de funcionamiento de carga o descarga, que además comprende un circuito de equilibrado de la corriente que tiene conmutadores bidireccionales, una corriente de equilibrado, que puede extraerse o inyectarse en una o más de las celdas de energía recargables que pasan a través del circuito de equilibrado de la corriente, los conmutadores bidireccionales que están adaptados para permitir que la unidad de control seleccione una corriente de equilibrado para fluir desde o hacia una celda de almacenamiento de energía.

En otro aspecto, se proporciona un sistema para usar en cualquiera de las realizaciones de la presente invención que tiene un circuito de selección de modo que comprende un grupo de conmutadores (p. ej., conmutadores bidireccionales y unidireccionales) opcionalmente conectados a un dispositivo óhmico individual, que determina el nivel de la corriente de equilibrado y ejecuta un proceso de función dual para permitir la selección de un modo de gestión. El modo de gestión se puede seleccionar entre un modo de equilibrado o un modo de prueba o un modo de funcionamiento de carga o descarga.

20

En otro aspecto, se puede usar un proceso de función dual en cualquiera de las realizaciones de la presente invención en el que se utiliza un grupo de celdas para aplicar una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas sin usar ninguna alimentación externa. Un grupo de celdas se puede adaptar para aplicar una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas, por lo que se proporciona un medio para medir una señal de la tensión de respuesta en la corriente de excitación. Después de dividir las celdas de energía conectadas en serie en grupos de celdas con conmutadores bidireccionales, se extrae una corriente de equilibrado o se inyecta en una o más de las celdas de energía recargables mediante el uso de conmutación bidireccional, los conmutadores bidireccionales que están adaptados para seleccionar una corriente de equilibrado para que fluya desde o hacia una celda.

25

El nivel de la corriente de equilibrado se puede determinar usando un dispositivo óhmico adicional conectado en paralelo con el dispositivo óhmico solo.

En otro aspecto que se puede utilizar en cualquiera de las realizaciones de la presente invención, se aplica una corriente de excitación para someter a prueba un grupo de celdas con otro grupo de celdas.

35

Por ejemplo, un modo de equilibrado con alimentación externa puede ser un modo de equilibrado pasivo durante la carga o descarga de los dispositivos de almacenamiento de energía recargables, y el equilibrado de las celdas con alimentación interna puede ser un modo de equilibrado en serie y en paralelo durante un tiempo de reposo. El modo de equilibrado pasivo se puede adaptar para proteger las celdas de almacenamiento de energía recargables contra la sobrecarga o la sobredescarga. El modo en serie y en paralelo se puede adaptar para completar el equilibrado de las celdas de almacenamiento de energía recargables durante un tiempo de reposo o inactividad.

40

Un grupo de celdas puede configurarse para aplicar una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas que además comprende medios para medir una señal de la tensión de respuesta en la corriente de excitación. La señal de la tensión de respuesta se puede convertir de un dominio del tiempo a un dominio de la frecuencia, p. ej., mediante el uso de un conjunto ortogonal de ondas u ondículas, p. ej., mediante el uso de una transformada discreta de Fourier y la impedancia de CA se puede calcular como una función de los niveles de frecuencia. Un SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables se puede calcular mediante el uso de dicha impedancia de CA. El SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables se puede calcular mediante el uso de un modelo genérico de envejecimiento.

45

## 50 Breve descripción de las figuras

La Figura 1 ilustra un sistema de gestión modular según una realización de la presente invención.

La Figura 2 ilustra una realización de la presente invención para cuatro celdas de batería.

La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo del funcionamiento de los dispositivos de gestión de batería de la Figura 1 según una realización de la presente invención.

- Las Figuras 4a a d ilustran cuatro casos de funcionamiento del modo de equilibrado pasivo según una realización de la presente invención durante la carga usando una sola resistencia a) celda de batería B1, b) celda de batería B2, c) celda de batería B3 y c) celda de batería B4.
- 5 Las Figuras 5a a d ilustran cuatro casos de funcionamiento del modo de equilibrado pasivo según una realización de la presente invención durante la descarga mediante el uso de una sola resistencia: a) celda de batería B1, b) celda de batería B2, c) celda de batería B3 y d) celda de batería B4.
- La Figura 6 ilustra resistencias óhmicas en derivación conmutadas (equilibrado pasivo) mediante el uso de múltiples resistencias óhmicas según una realización de la presente invención.
- 10 Las Figuras 7a y b ilustran las tensiones de celda de una simulación del equilibrado pasivo: a) resistencia óhmica múltiple ( $R=1,5 \Omega$ ) y b) resistencia óhmica individual ( $R1=1,5 \Omega$ ) según una realización de la presente invención.
- Las Figuras 8a y b ilustran el SoC de celda de una simulación del equilibrado pasivo: a) resistencia óhmica múltiple ( $R=1,5 \Omega$ ) y b) resistencia óhmica individual ( $R1=1,5 \Omega$ ) según una realización de la presente invención.
- Las Figuras 9a y b ilustran la pérdida de energía de la simulación del equilibrado pasivo: a) resistencia óhmica múltiple ( $R=1,5 \Omega$ ) y b) resistencia óhmica individual ( $R1=1,5 \Omega$ ) según una realización de la presente invención.
- 15 Las Figuras 10a y b ilustran los resultados de la simulación de un modo de equilibrado pasivo mediante el uso de una sola resistencia durante la carga: a) tensión y b) SoC según una realización de la presente invención.
- Las Figuras 11a y b ilustran los resultados de la simulación de un modo de equilibrado pasivo durante la descarga: a) tensión y b) SoC según una realización de la presente invención.
- 20 Las Figuras 12a a d ilustran cuatro casos de funcionamiento del modo de equilibrado en serie y en paralelo según una realización de la presente invención durante el tiempo de reposo mediante el uso de una sola resistencia: a) transferir energía desde la celda de batería 3 y la celda de batería 4 a la celda de batería 1, b) transferir energía desde la celda de batería 3 y la celda de batería 4 a la celda de batería 2, c) transferir energía desde la celda de batería 1 y la celda de batería 2 a la celda de batería 3, y d) transferir energía desde la celda de batería 1 y la celda de batería 2 a la celda de batería 4.
- 25 La Figura 13 ilustra una realización de la presente invención para cuatro celdas de batería integradas con un cargador de CC separado.
- Las Figuras 14a y b ilustran la tensión de celda de una simulación de equilibrado: a) modo en serie y en paralelo ( $R1=1,5 \Omega$ ), y b) modo de equilibrado pasivo mediante el uso de una resistencia óhmica individual ( $R1=1,5 \Omega$ ) según una realización de la presente invención.
- 30 Las Figuras 15a y b ilustran el SoC de celdas de una simulación de equilibrado: a) modo en serie y en paralelo ( $R1=1,5 \Omega$ ), y b) modo de equilibrado pasivo mediante el uso de una resistencia óhmica individual ( $R1=1,5 \Omega$ ) según una realización de la presente invención.
- 35 Las Figuras 16a y b ilustran la pérdida de energía de una simulación de equilibrado: a) modo en serie y en paralelo ( $R1=1,5 \Omega$ ), y b) modo de equilibrado pasivo mediante el uso de una resistencia óhmica individual ( $R1=1,5 \Omega$ ) según una realización de la presente invención. La Figura 17 ilustra la estrategia de control basada en la técnica PWM (donde  $n$  es el número de celdas RES tales como celdas de batería conectadas en serie) según una realización de la presente invención.
- La Figura 18 ilustra una señal de pulsos basada en la técnica PWM según una realización de la presente invención.
- 40 La Figura 19 ilustra un diagrama de flujo de la metodología propuesta para estimar el SoH y/o el SoC según una realización de la presente invención.
- Las Figuras 20 a y b ilustran los resultados de la simulación del modo de prueba de la impedancia de CA: a) corriente de excitación y b) tensión de respuesta según una realización de la presente invención.
- La Figura 21 ilustra la impedancia de CA de las baterías en función del nivel de frecuencia tal como se utiliza en una realización de la presente invención.
- 45 La Figura 22 ilustra el modelo genérico de envejecimiento para la estimación del SoH basado en pruebas experimentales de diferentes tipos de baterías de iones de litio como se usan en una realización de la presente invención.
- La Figura 23 muestra la relación entre el SoH y la impedancia de resonancia de las baterías LFP (fosfato de hierro y litio) y NMC (óxido de cobalto y manganeso de litio y níquel) probadas con diferentes tamaños.
- 50 La Figura 24 muestra valores reales del SoH frente al SoH previsto usando una realización de la presente invención.

## Definiciones

Un "dispositivo de conmutación bidireccional" se refiere a uno o más conmutadores y dispositivos de diodo, que permiten que la corriente fluya de forma selectiva en una de dos direcciones a través del dispositivo de conmutación. Los conmutadores pueden ser componentes discretos como relés de láminas en paralelo con un diodo. De forma alternativa, los conmutadores pueden ser transistores. Los diodos pueden ser componentes discretos o pueden ser, por ejemplo, un transistor conectado a un diodo.

Un "dispositivo de conmutación unidireccional" se refiere a uno o más conmutadores y, opcionalmente, dispositivos de diodo, que permiten que la corriente fluya de forma selectiva en una sola dirección a través del dispositivo de conmutación. El conmutador o conmutadores pueden ser componentes discretos, como un relé de láminas en serie con un diodo. El diodo puede ser un componente discreto o puede ser un transistor conectado a un diodo, por ejemplo. De forma alternativa, los conmutadores pueden ser transistores individuales configurados para permitir la corriente en una sola dirección.

Un "dispositivo óhmico" es un dispositivo electrónico que se comporta como, o es, una resistencia, o son dos o más resistencias, p. ej., en un circuito de resistencia, que sigue la ley de Ohm. Por lo tanto, la corriente que fluye a través de un dispositivo óhmico varía proporcionalmente a la tensión a través del dispositivo.

Un "proceso de función dual" (DFP) significa dividir un paquete de energía recargable, como un paquete de baterías, en dos o más módulos independientes gracias a la disposición de los conmutadores dedicados (p. ej., conmutadores bidireccionales y unidireccionales conectados opcionalmente a un dispositivo óhmico individual, tal como una resistencia).

Un "diagnóstico de salud de celda de almacenamiento de energía recargable de impedancia de CA" es un procedimiento y/o técnica de estimación que permite a un sistema de gestión RESS estimar un parámetro de diagnóstico (es decir, ser un, o estar relacionado con un, o derivado de un, o una función de un SoH) de una celda o paquete de celdas. El SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables se puede estimar a partir de los resultados de aplicar un modo de prueba de impedancia de CA. Se pueden usar pruebas de diagnóstico adicionales o alternativas con la presente invención y son, por ejemplo, pruebas de diagnóstico de corriente, de tensión y de resistencia o impedancia, p. ej., como se indica en los documentos US 4.719.427 y US 4.361.809.

## Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

La presente invención se refiere a un sistema de gestión modular para celdas de almacenamiento de energía recargables o paquetes de celdas con una nueva configuración y escenarios avanzados para proporcionar una disposición inteligente. La misma configuración admitida por el sistema de gestión está diseñada para supervisar, proteger, equilibrar, cargar, someter a prueba y controlar un RESS que está conectado en serie.

La Figura 1 y la Figura 2 ilustran un circuito de gestión según una realización de la presente invención. Este sistema tiene dos grupos de dispositivos de conmutación o conmutadores: un circuito de equilibrado de la corriente (1) que comprende los dispositivos de conmutación bidireccionales, que comprenden los conmutadores bidireccionales S1, S2; S3, S4; S5, S6; S7, S8; S11, S12; S13, S14; S15, S16; S17, S18. Se proporciona un circuito (3) de selección de modo que comprende los dispositivos de conmutación unidireccionales o conmutadores S19...S23 y un circuito (2) de división de celdas que comprende los dispositivos de conmutación bidireccionales o conmutadores S9, S10. Una corriente de equilibrado, que puede extraerse o inyectarse en una cualquiera o más de las celdas de energía recargables B1 a B4, pasa a través del circuito de equilibrado de la corriente (1), p. ej., compuesto por dispositivos de conmutación bidireccionales. Los dispositivos de conmutación bidireccionales del circuito de equilibrado de la corriente (1) pueden comprender, o pueden consistir en, dos conmutadores (es decir, S1 y S2; S3, S4; S5, S6; S7, S8; S11, S12; S13, S14; S15, S16; S17, S18) cada conmutador está acoplado en serie con un primer dispositivo de diodo y cada conmutador está acoplado en paralelo a un segundo dispositivo de diodo, como se muestra en la Figura 2, mediante el cual un diodo D1, por ejemplo, está conectado a la inversa en comparación con el otro diodo D2. Estos dispositivos de conmutación o conmutadores bidireccionales (1) permiten que una unidad (9) de control seleccione una corriente de equilibrado para que fluya desde o hacia una celda.

El circuito (3) de selección de modo comprende dispositivos de conmutación unidireccionales o los conmutadores S19...S23, que incluyen conmutadores individuales como los transistores S19, S20, S21, S22, S23 y S24 (véase la Figura 2), están adaptados y configurados para permitir la selección de un modo de gestión tal como un modo de equilibrado o un modo de prueba o un modo de funcionamiento de carga o descarga. Un proceso de prueba como un DFP, por ejemplo, puede ejecutarse mediante un circuito de división (2) configurado para dividir el paquete de celdas de energía recargables, tal como un paquete de baterías, en dos o más módulos independientes. El circuito de división (2) puede incluir una conexión en serie de dispositivos de conmutación bidireccionales o los conmutadores S9, S10 que pueden dividir el paquete de celdas B1 a B4, en un módulo superior B1+ B2 y un módulo inferior B3 + B4 o para un número cualquiera de celdas. Cada módulo dividido es una fuente de alimentación en sí misma y cada uno de dichos módulos se puede utilizar como un medio para equilibrar y/o someter a prueba otro módulo de este tipo en una realización de proceso de diagnóstico o equilibrado de RESS con alimentación interna. Esto puede evitar la necesidad de una fuente de alimentación externa para los procesos de equilibrado o prueba, aunque la disposición de una fuente

de alimentación externa no está excluida del alcance de la presente invención, aunque es menos preferible. Como se muestra en la Figura 2, los conmutadores S9 y S10 conectados en serie, con los diodos D9 y D10 conectados a la inversa conectados respectivamente en paralelo a los conmutadores S9 y S10 representan el dispositivo de conmutación bidireccional en serie para dividir en módulos. Dado que la corriente requerida para equilibrar y someter a prueba las celdas de la batería es relativamente baja (es decir, menos de 5 A), no hay necesidad de aumentar la redundancia en paralelo de los conmutadores o dispositivos de conmutación unidireccionales y/o bidireccionales que se utilizan en la presente invención, lo cual representa la inviabilidad económica. Sin embargo, la corriente de carga/descarga pasa a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores (S9, S10), que, por lo tanto, necesitan pasar corrientes relativamente altas (es decir, > 50 A), dependiendo del tamaño de sistema de baterías, la capacidad y la demanda de carga. Por lo tanto, en la práctica, una conexión en serie de conmutadores o dispositivos de conmutación bidireccionales (S9 y S10) se puede ampliar con más conmutadores o dispositivos de conmutación conectados en paralelo (como se muestra en el recuadro de la Figura 2) para compartir la corriente de la batería durante la descarga y los modos de carga, y para reducir el coste y el tamaño de estos dispositivos de conmutación o conmutadores. Un dispositivo (5) óhmico individual tal como una resistencia R1 se puede utilizar para equilibrar y/o someter a prueba. Uno o más dispositivos (6) óhmicos adicionales pero opcionales, como la resistencia R2, pueden añadirse en paralelo a la resistencia R1 para aumentar la corriente de equilibrado y disminuir el tiempo de equilibrado. Cada dispositivo óhmico adicional de este tipo está preferiblemente controlado por un dispositivo de conmutación o conmutador adicional.

La tensión de cada celda de energía recargable B1 a B4 se supervisa individualmente mediante un medio (4) de detección de tensión. El medio (4) de detección de tensión se puede proporcionar mediante una matriz (4) de sensores de tensión, mediante la cual uno de estos sensores puede adaptarse para medir la tensión de una celda B1 a B4. De forma alternativa, un sensor puede cambiarse a una celda que se va a medir (no se muestra). El medio (4) de detección de tensión, tal como la matriz de sensores de tensión, puede comunicarse con una unidad (9) de control central y, por lo tanto, tener un medio para comunicar los resultados de la medición de tensión a la unidad (9) de control central. La unidad (9) de control central tiene un medio para recibir los resultados de las mediciones de tensión (p. ej., puerto de E/S, o interfaz de red o bus) y también tiene medios para almacenar estos valores (es decir, memoria) y para procesar estos valores (es decir, motor de procesamiento).

La temperatura del paquete de baterías se supervisa con un medio de medición de la temperatura tal como un indicador (12) de temperatura. La temperatura del paquete también se comunica a la unidad (9) de control central y, por lo tanto, el medio de medición de la temperatura tiene medios para comunicar los resultados de la medición de la temperatura a la unidad (9) de control central. Por lo tanto, la unidad (9) de control central tiene medios para recibir los resultados de las mediciones de temperatura (p. ej., puerto de E/S, o interfaz de red o bus) y también tiene medios para almacenar (es decir, memoria) estos valores y para procesar estos valores (es decir, un motor de procesamiento).

La corriente del paquete de celdas de energía recargables, tal como un paquete de baterías, se supervisa con un dispositivo (7) de supervisión de la corriente y los valores de corriente que son los resultados de las mediciones de corriente se comunican a la unidad (9) de control central. Por lo tanto, el dispositivo (7) de supervisión de la corriente tiene medios para comunicar los resultados de la medición de corriente a la unidad (9) de control central. La unidad (9) de control central tiene un medio para recibir los resultados de las mediciones de corriente (p. ej., puerto de E/S, o interfaz de red o bus) y también tiene medios para almacenar estos valores (es decir, memoria) y para procesar estos valores. (es decir, un motor de procesamiento).

La tensión del paquete de almacenamiento de energía preferiblemente también se supervisa y los valores, que son los resultados de las mediciones de tensión del paquete, se comunican a la unidad (9) de control central. Se proporcionan medios para medir la tensión del paquete y para comunicar los resultados de la medición de tensión del paquete a la unidad (9) de control central. Por lo tanto, la unidad (9) de control central tiene un medio para recibir los resultados de las mediciones de tensión del paquete (p. ej., puerto de E/S o interfaz de red o bus) y también tiene medios para almacenar estos valores (es decir, memoria) y para procesar estos valores (es decir, un motor de procesamiento).

El rendimiento de las celdas de almacenamiento de energía recargables, tal como las baterías, puede basarse en uno, algunos o todos los valores medidos mencionados anteriormente y acumularse durante el funcionamiento de los modos de equilibrado y/o de prueba. El rendimiento se puede visualizar en una pantalla de usuario, tal como un dispositivo (11) LCD, o se puede comunicar al exterior (el mundo exterior) a través de una interfaz, tal como un puerto de E/S, una interfaz de red o un bus, tal como un bus CAN, o una conexión en serie tal como un puerto USB. El paquete de celdas de almacenamiento de energía recargables, tal como un paquete de baterías, tiene preferiblemente medios para la desconexión, p. ej., a través de un relé (8) de protección bajo el control de la unidad (9) de control central en caso de fallo o para llevar a cabo una prueba diagnóstica autoalimentada a bordo.

La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo operativo de una realización de la presente invención. Para asegurar la exactitud de los datos, es preferible que todos los datos, tal como la tensión del paquete, el flujo de corriente, la tensión de la celda y la temperatura de la celda, estén calibrados inicialmente y, preferiblemente, de forma automática. En primer lugar, cada tensión de celda, tensión de paquete, corriente de paquete y temperatura se miden con frecuencia por los sensores (4), (7), (12) pertinentes, etc., y se transmiten a la unidad (9) de controlador. A continuación, un algoritmo de control según realizaciones de la presente invención que se ejecuta en la unidad (9) de control procesa

estos datos mediante el uso de un motor de procesamiento para decidir e implementar la función o funciones del sistema de gestión de paquetes que deben realizarse. La unidad (9) de control tiene un motor de procesamiento digital tal como un microprocesador o un FPGA, así como memoria. La unidad (9) de control se puede configurar como un dispositivo autónomo, p. ej., se puede configurar como un microcontrolador o se puede configurar como una unidad de control incorporada o integrada. La unidad (9) de control tiene suficiente potencia de procesamiento y memoria para implementar los sistemas de gestión y ejecutar los procedimientos según las realizaciones de la presente invención.

El flujo 100 de procedimiento de la Figura 3 comienza con la etapa 102. Al inicio y antes de que se inicie la función o funciones del sistema de gestión que se deben realizar, es preferible que se lleven a cabo determinadas comprobaciones de seguridad. Una de estas funciones de seguridad, preferiblemente realizada por la unidad (9) de control, es comprobar la tensión del paquete  $V_p$  para asegurar que el paquete de celdas RESS sea seguro para su uso. Por ejemplo, la tensión del paquete de celdas RESS  $V_p$ , la corriente de carga  $I_L$  suministrada por el paquete de celdas RESS y la temperatura del paquete de celdas RESS  $T_B$  se miden en la etapa 104 usando los sensores (4), (7), (12) pertinentes, etc., y se pueden comunicar a la unidad 9 de control y los valores se guardan en una memoria intermedia o se almacenan allí. En la etapa 106, la tensión medida del paquete  $V_p$  se compara con un valor máximo  $V_{\max}$  por el controlador (9) y, opcionalmente, se compara con un valor mínimo  $V_{\min}$ . La unidad (9) de control puede llevar a cabo una de estas comparaciones o ambas comparaciones. Si la tensión medida del paquete  $V_p$  sobrepasa el valor máximo  $V_{\max}$  el paquete de celdas RESS se desconecta (p. ej., mediante la unidad (9) de control que envía una señal de desconexión al relé (8) de protección), en la etapa 108 para permitir la reparación o investigación. Si un paquete está totalmente descargado, la tensión del paquete  $V_p$  puede estar cerca de cero, por lo que un valor bajo no es necesariamente un fallo. Sin embargo, si la tensión del paquete  $V_p$  es inferior a un valor umbral mínimo  $V_{\min}$  el flujo también puede salir opcionalmente en la etapa 108. Si la etapa 106 es SÍ, el sensor (7) de corriente y más preferentemente si la unidad (9) de control, puede comprobar si el paquete de celdas RESS está en operación (109) de carga o descarga o reposa en modo (110) inactivo. Por ejemplo, en la etapa 111 la unidad (9) de control puede comprobar si la corriente de carga es cero, indicando un estado (110) inactivo. Si la etapa 111 es NO, la unidad (9) de control puede comprobar, en la etapa 112, si la corriente de carga es mayor que cero indicando un estado (109) de carga (o estado de descarga, dependiendo de cómo esté dispuesto el circuito). Si la etapa 112 es NO, la unidad (9) de control comprueba en la etapa 113 si la corriente de carga es inferior a cero indicando un estado de descarga (o carga). Durante la operación (109) de carga/descarga, los sensores de tensión (4) comunican de forma continua los datos de tensión a la unidad (9) de control central para determinar si hay alguna celda con bajo rendimiento. Si la respuesta es SÍ en las etapas 112 y 113, se puede determinar una celda de bajo rendimiento, por ejemplo, comparando una tensión de celda mínimo con un valor de tensión de celda máxima de algunas o todas las celdas en el paquete de almacenamiento de energía recargable, tal como un paquete de baterías. Por ejemplo, una vez que esta diferencia de tensión sobrepasa un valor umbral como en la etapa 114, p. ej., sobrepasa los 80 mV, la unidad (9) de control inicia el modo de equilibrado pasivo, p. ej., en la etapa 115. El modo de equilibrado pasivo se puede implementar para el equilibrado al menos parcial de las celdas en el paquete de almacenamiento de energía recargable, tal como un paquete de baterías, mediante el uso de un dispositivo óhmico individual, tal como una resistencia. Al mismo tiempo, la pérdida de calor del paquete de celdas RESS se supervisa preferiblemente para controlar el sistema de enfriamiento con el fin de mantener la temperatura del circuito de equilibrado y/o el paquete de celdas RESS por debajo de una temperatura máxima, p. ej., alrededor de 35 °C. Por ejemplo, en la etapa 117, la unidad (9) de control comprueba si la temperatura del paquete  $T_B$  es inferior a una temperatura máxima tal como 35 °C. Si la respuesta es SÍ en la etapa 117, el modo de equilibrado pasivo continúa hasta que la diferencia de tensión determinada en la etapa 115 esté por debajo de un valor umbral tal como 80 mV, momento en el cual el control se reinicia en la etapa 104. Si en la etapa 117 es que NO, la unidad (9) de control inicia un sistema de enfriamiento en la etapa 119 y el flujo vuelve a la etapa 114.

Se pueden realizar diversas etapas adicionales (no se muestran en la Figura 3), tal como entrar en la etapa 108 (p. ej., bajo el control de la unidad (9) de control) si hay una indicación de que el sistema de enfriamiento no controla la temperatura del paquete de celdas y/o el circuito de equilibrado correctamente. Por ejemplo, si en varios períodos de tiempo consecutivos la etapa 117 es NO, puede indicar que el paquete está fuera de control y se puede entrar en la etapa 108 (p. ej., bajo el control de la unidad (9) de control). De forma alternativa, la etapa 117 puede incluir que la unidad (9) de control compruebe si la temperatura del paquete y/o del circuito de equilibrado  $T_B$  es inferior a una primera temperatura máxima del circuito de equilibrado, tal como 35 °C, y no sobrepasa una segunda temperatura máxima del paquete, tal como 55 °C o 80 °C. En caso de que sobrepase la segunda temperatura máxima del paquete, se entra en la etapa 108 (p. ej., bajo el control de la unidad (9) de control). Además, las etapas 112 y 113 pueden incluir que la unidad (9) de control realice la etapa adicional de comprobar si la corriente de carga es mayor que un valor absoluto máximo. Sobrepasar dicho valor podría indicar un cortocircuito y, por lo tanto, el controlador (9) entra en la etapa 108.

Si la respuesta es SÍ en la etapa 111, se supone que el paquete de celdas RESS está inactivo (110) y el flujo pasa a la etapa 120 donde la unidad (9) de control comprueba si existe una diferencia entre la tensión de celda máxima y la tensión de celda mínima de las celdas del paquete de celdas RESS es inferior a determinado valor, p. ej., inferior a 6 mV. En caso de funcionamiento (110) inactivo, se pueden seleccionar preferentemente uno o más modos, p. ej., en función del orden de funcionamiento. Por ejemplo, si la etapa 120 es NO, la unidad (9) de control inicia un modo de equilibrado en serie y en paralelo en la etapa 121 y en una etapa de tiempo posterior, el flujo vuelve a la etapa 120. Si

el modo de equilibrado en serie y en paralelo funciona correctamente, equilibrará completamente las celdas y la comprobación en la etapa 120 revelará que la diferencia de tensión medida en esa etapa es inferior a un valor umbral, p. ej., inferior a 6 mV. Pueden llevarse a cabo diversas etapas adicionales (no se muestran en la Figura 3), como entrar en la etapa 108; por ejemplo, si el modo de equilibrado en serie y en paralelo no logra reducir la diferencia de tensión en la etapa 120 después de un largo período de tiempo.

Si la etapa 120 es SÍ, se puede iniciar un modo de prueba en la etapa 122. Antes de la etapa 122, el RESS se puede desconectar de cualquier carga mediante el uso del relé (8) de protección, por ejemplo, bajo el control de la unidad (9) de control. En la etapa 122 se puede realizar una prueba de diagnóstico a bordo, p. ej., alimentada por varias celdas en una parte del RESS. Por ejemplo, la prueba de diagnóstico puede ser la determinación de una estimación de un SoH de las celdas RESS tales como celdas de batería. A partir de etapas adicionales, tales como las etapas 122 a 124, se puede determinar el final de la vida útil de las celdas del paquete RESS, p. ej., mediante la identificación de celdas débiles, que, por ejemplo, indican un SoH deficiente basándose en una prueba de diagnóstico de impedancia de CA, p. ej., tienen alta impedancia de CA (es decir, superior a 15 mΩ) en la etapa 123 o celdas defectuosas tales como las celdas en circuito abierto o celdas en cortocircuito detectadas en la etapa 124. Los resultados de las etapas 122 o 124 pueden visualizarse en la pantalla (11) o comunicarse a un usuario de cualquier otra forma adecuada, p. ej., a través de un puerto de E/S o a través de un bus tal como un bus CAN. Puede sustituirse cualquier celda defectuosa puede sustituirse o puede sustituirse el paquete completo.

El funcionamiento de un paquete de celdas RESS basado en la estructura del circuito de gestión de la batería en la Figura 2 se describirá en función de los resultados de la simulación de un paquete de celdas RESS de cuatro celdas de batería de iones de litio.

#### Modo de equilibrado pasivo

Durante el proceso 109 de carga y descarga, el modo de equilibrado pasivo en la etapa 115 puede funcionar directamente para equilibrar al menos parcialmente las celdas de la batería mediante el uso de un dispositivo (5) óhmico individual tal como una sola resistencia (R1 de la Figura 2). La Figura 4 y la Figura 5 ilustran cuatro casos de funcionamiento del modo de equilibrado pasivo durante la carga/descarga. La función de los conmutadores o dispositivos de conmutación unidireccionales (S19, S20 ... S23 de la Figura 2) es conectar el dispositivo (5) óhmico individual tal como la resistencia individual R1 y una celda de batería B1-B4 en paralelo, que tiene la mayor energía, basándose en la ubicación de la celda de batería en el conjunto de baterías B1 a B4.

La Figura 4a ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de carga  $I_{ch}$  que fluye desde una fuente de alimentación de carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B1 tiene un estado de carga alto o más alto y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga baja o más baja. La corriente del paquete de carga  $I_{ch}$  se reduce por una corriente de equilibrado  $I_{B1}$  para la celda B1, en comparación con las otras celdas B2 a B4 que reciben la corriente de carga completa  $I_{ch}$  que fluye a través del conmutador S9 y el diodo D10 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B1}$  fluye a través del conmutador S1 y el diodo D2 que está en serie con el conmutador S1, y luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S19 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S21 y S20 que están apagados. La corriente  $I_{B1}$  fluye a través del dispositivo (5) óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S23 y S4 y el diodo D3 que está en serie con el S4 y en paralelo con el conmutador S3 que está apagado. La corriente de carga para la celda B1, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, una menor necesidad de corriente de carga, es  $I_{ch} - I_{B1}$ . El valor de la corriente  $I_{B1}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B1 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S1, D2, S19, R1, S23, S4, D3 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente de equilibrado más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B1}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas (no se muestran) que añaden más resistencias como la R2 a la resistencia R1.

Las Figuras 4b a d muestran operaciones de carga similares, que reducen la corriente de carga en una o más celdas B1 a B4. La Figura 4b ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de carga  $I_{ch}$  que fluye desde una fuente de alimentación de carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B2 tiene un estado de carga alto o más alto y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga baja o más baja. La corriente del paquete de carga  $I_{ch}$  se reduce por una corriente de equilibrado  $I_{B2}$  para la celda B2, en comparación con las otras celdas B1, B3, B4 que reciben la corriente de carga completa  $I_{ch}$  que fluye a través del conmutador S9 y el diodo D10 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B2}$  fluye a través del conmutador S5 y el diodo D6 que está en serie con el conmutador S5. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S19 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S21 y S20 que están apagados. La corriente  $I_{B2}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores S23 y S8 y el diodo D7 que está en serie con el S8 en paralelo con el conmutador S7 que está apagado. La corriente de carga para la celda B2, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga baja o más baja, es  $I_{ch} - I_{B2}$ . El valor de la corriente  $I_{B2}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B2 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S5, D6, S19, R1, S23, S8, D7 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B2}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1. Si se enciende el dispositivo de

conmutación o el conmutador S1 en lugar de S5 (no se muestra), la corriente de carga reducida  $I_{ch} - I_B$  fluye a través de B1 y B2.

La Figura 4c ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de carga  $I_{ch}$  que fluye desde una fuente de alimentación de carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B3 tiene un estado de carga alto o más alto y, por lo tanto, una menor necesidad de corriente de carga. La corriente del paquete de carga  $I_{ch}$  se reduce por una corriente de equilibrado  $I_{B3}$  para la celda B3, en comparación con las otras celdas B1, B2, B4 que reciben la corriente de carga completa  $I_{ch}$  que fluye a través del conmutador S9 y el diodo D10 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B3}$  fluye a través del conmutador S11 y el diodo D12 que está en serie con el conmutador S11. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S20 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19 y S21 que están apagados. La corriente  $I_{B3}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores 23 y S14 y el diodo D13 que está en serie con el S14 en paralelo con el conmutador S13 que está apagado. La corriente de carga para la celda B3, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga baja o más baja, es  $I_{ch} - I_{B3}$ . El valor de la corriente  $I_{B3}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B3 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S11, D12, S20, R1, S23, S14, D13 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B3}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1.

La Figura 4d ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de carga  $I_{ch}$  que fluye desde una fuente de alimentación de carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B4 tiene un estado de carga alto o más alto y, por lo tanto, una menor necesidad de corriente de carga. La corriente del paquete de carga  $I_{ch}$  se reduce por una corriente de equilibrado  $I_{B4}$  para la celda B4, en comparación con las otras celdas B1, B2, B3 que reciben la corriente de carga completa  $I_{ch}$  que fluye a través del conmutador S9 y el diodo D10 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B4}$  fluye a través del conmutador S15 y el diodo D16 que está en serie con el conmutador S15. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S20 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19 y S21 que están apagados. La corriente  $I_{B4}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores 23 y S18 y el diodo D17 que está en serie con el S18 en paralelo con el conmutador S17 que está apagado. La corriente de carga para la celda B4, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga baja o más baja, es  $I_{ch} - I_{B4}$ . El valor de la corriente  $I_{B4}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B4 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S15, D16, S20, R1, S23, S18, D17 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B4}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1. Si se enciende el dispositivo de conmutación o el conmutador S11 en lugar de los dispositivos de conmutación o el conmutador S15 (no se muestra), la corriente de carga reducida  $I_{ch} - I_B$  fluye a través de B3 y B4.

Las Figuras 5a a 5d muestran el mismo sistema RESS de las Figuras 4a a 4d para el modo de descarga con una corriente de carga  $I_{des}$  a través de una carga. Las operaciones de conmutación son equivalentes a las descritas para las Figuras 4a a 4d. La Figura 5a ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 proporcionando una corriente de descarga  $I_{des}$  en una carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B1 tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede proporcionar más corriente de descarga. El paquete de descarga actual  $I_{des}$  se incrementa con una corriente de equilibrado  $I_{B1}$  para la celda B1, en comparación con las otras celdas B2 a B4 que experimentan la corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través del conmutador S10 y el diodo D9 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B1}$  fluye a través del conmutador S1 y el diodo D2 que está en serie con el conmutador S1. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S19 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S21 y S20 que están apagados. La corriente  $I_{B1}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores 23 y S4 y el diodo D3 que está en serie con el S4 y en paralelo con el conmutador S3 que está apagado. La corriente de descarga para la celda B1, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede proporcionar más corriente de descarga, es  $I_{des} + I_{B1}$ . El valor de la corriente  $I_{B1}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B1 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S1, D2, S19, R1, S23, S4, D3 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B1}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas (no se muestran) controladas por un dispositivo de conmutación o conmutador que añaden más resistencias como la R2 a la resistencia R1.

La Figura 5b ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través de una carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B2 tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede suministrar más corriente de descarga. El paquete de descarga actual  $I_{des}$  se incrementa con una corriente de equilibrado  $I_{B2}$  para la celda B2, en comparación con las otras celdas B1, B3, B4 que experimentan la corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través del conmutador S10 y el diodo D9 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B2}$  fluye a través del conmutador S5 y el diodo D6 que está en serie con el conmutador S5. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S19 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S21 y S20 que están apagados. La corriente  $I_{B2}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es

decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores o dispositivos de conmutación S23 y S8 y el diodo D7 que está en serie con el S8 en paralelo con el conmutador S7 que está apagado. La corriente de descarga para la celda B2, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga baja o más baja, es  $I_{ch+} I_{B2}$ . El valor de la corriente  $I_{B2}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B2 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S5, D6, S19, R1, S23, S8, D7 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B2}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1 controladas por un conmutador. Si se enciende el dispositivo de conmutación o el conmutador S1 en lugar del dispositivo de conmutación o el conmutador S5 (no se muestra), la corriente de descarga aumentada  $I_{ch+} I_B$  fluye a través de B1 y B2.

La Figura 5c ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través de una carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B3 tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede proporcionar una corriente de descarga mayor. El paquete de descarga actual  $I_{des}$  se incrementa con una corriente de equilibrado  $I_{B3}$  para la celda B3, en comparación con las otras celdas B1, B2, B4 que experimentan la corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través del conmutador S10 y el diodo D9 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B3}$  fluye a través del conmutador S11 y el diodo D12 que está en serie con el conmutador S11. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S20 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19 y S21 que están apagados. La corriente  $I_{B3}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores 23 y S14 y el diodo D13 que está en serie con el S14 en paralelo con el dispositivo de conmutación o el conmutador S13 que está apagado. La corriente de descarga para la celda B3, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede proporcionar más corriente de descarga, es  $I_{des} + I_{B3}$ . El valor de la corriente  $I_{B3}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B3 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S11, D12, S20, R1, S23, S14, D13 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B3}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1 controladas por un dispositivo de conmutación o conmutador.

La Figura 5d ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 sometido a una corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través de una carga. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B4 tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede suministrar más corriente de descarga. El paquete de descarga actual  $I_{des}$  se incrementa con una corriente de equilibrado  $I_{B4}$  para la celda B4, en comparación con las otras celdas B1, B2, B3 que reciben la corriente de descarga  $I_{des}$  que fluye a través del conmutador S10 y el diodo D9 en serie con él. La corriente de equilibrado  $I_{B4}$  fluye a través del conmutador S15 y el diodo D16 que está en serie con el conmutador S15. Luego fluye a través del dispositivo de conmutación o conmutador S20 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19 y S21 que están apagados. La corriente  $I_{B4}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores 23 y S18 y el diodo D17 que está en serie con el S18 en paralelo con el dispositivo de conmutación o el conmutador S17 que está apagado. La corriente de descarga para la celda B4, que tiene un estado de carga alto o el más alto y, por lo tanto, puede proporcionar más corriente de descarga, es  $I_{des} + I_{B4}$ . El valor de la corriente  $I_{B4}$  viene determinado por la caída de tensión en la celda B4 dividido por la impedancia resistiva en el circuito S15, D16, S20, R1, S23, S18, D17 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B4}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1 controladas por un dispositivo de conmutación o conmutador. Si se enciende el dispositivo de conmutación o el conmutador S11 en lugar del dispositivo de conmutación o S15 (no se muestra), la corriente de descarga aumentada  $I_{ch+} I_B$  fluye a través de B3 y B4.

En una simulación adicional, como se muestra en las Figuras 7 y 9, durante el tiempo de reposo, el SoC inicial de las celdas que están conectadas en serie se ajustó para que fuera el 100%, 98%, 94 y 92 para la celda B1, la celda B2 y la celda B3 y la celda B4 respectivamente. A causa de la diferencia del 8% en el SoC entre las celdas, la diferencia de tensión es de alrededor de 270 mV. Como se puede observar en la Figura 9, la pérdida de energía de los dispositivos óhmicos individuales y múltiples, tales como las resistencias (véase la Figura 6), es casi la misma (~ 1,8 Wh). Sin embargo, la tasa de pérdida de calor para el dispositivo óhmico individual es aproximadamente la mitad de la del dispositivo de resistencia múltiple y, por lo tanto, la subida de la temperatura de los componentes del circuito se reduce aumentando la vida útil de los componentes.

El tiempo de equilibrado con las resistencias múltiples (~ 19 min) es menor que el tiempo necesario para equilibrar las celdas con una sola resistencia (~ 29 min), sin embargo, esta diferencia de tiempo no es significativamente mayor. Por lo tanto, en la presente invención no hay necesidad de aumentar el número de resistencias en más de una, aunque la opción de hacerlo como se proporciona en las realizaciones de la presente invención es ventajosa. En consecuencia, en las realizaciones de esta invención, el sistema de gestión propuesto utiliza una sola resistencia no solo para el modo de equilibrado pasivo sino también para el equilibrado en serie y en paralelo y los modos de prueba de impedancia de CA gracias a la disposición inteligente de los conmutadores dedicados. Esta ventaja compensa cualquier pequeño aumento en el tiempo de equilibrado.

Para validar el rendimiento de la estrategia de control propuesta para el modo de equilibrado pasivo mediante el uso de una resistencia óhmica individual, el circuito de gestión propuesto fue diseñado y realizado mediante el uso de Matlab/Simulink. Estas simulaciones se llevaron a cabo durante la carga y descarga. Durante la carga, el desequilibrio en el estado de carga (SoC) fue de alrededor del 8%. La Figura 10 muestra los resultados de la simulación del modo de equilibrado pasivo durante el proceso de carga. La Figura 11 demuestra los resultados de la simulación del mismo modo de equilibrado durante la descarga en la misma condición inicial (8% de diferencia en el SoC). Como resultado, el sistema de gestión propuesto según las realizaciones de la presente invención, especialmente aquellas con una estrategia de control de modulación por ancho de pulso (PWM) (véase las estrategias de control de PWM a continuación) tiene la capacidad de eliminar el desequilibrio en la tensión y el SoC mediante el uso de un dispositivo óhmico individual tal como un modo de equilibrado pasivo de resistencia.

Modo de equilibrado en serie y en paralelo: un modo de equilibrado con alimentación interna para los tiempos de inactividad

En este modo de equilibrado, la conexión de algunas celdas B1 a B4 se cambia de serie a paralelo y, opcionalmente, las celdas B1 a B4 pueden desconectarse de cualquier carga o dispositivo de carga abriendo el relé (8) de protección. La Figura 12 ilustra cuatro casos de funcionamiento de modos de equilibrado con alimentación interna para el tiempo de inactividad, tal como los modos de equilibrado en serie y en paralelo durante el tiempo de reposo usando, por ejemplo, un dispositivo (5) óhmico individual tal como una sola resistencia R1, por medio de la cual la Figura 12a ilustra una transferencia de energía desde la celda 3 y la celda 4 a la celda 1, la Figura 12b ilustra una transferencia de energía desde la celda 3 y la celda 4 de la celda de la batería 2, la Figura 12c ilustra una transferencia de energía desde la celda 1 y la celda 2 de la celda de la batería 3 y la Figura 12d ilustra una transferencia de energía desde la celda de la batería 1 y la celda 2 a la celda 4. Se puede observar que se pueden usar cuatro conmutadores unidireccionales (S19, S20, S21 y S22) para controlar la dirección de la corriente de equilibrado a través de la misma resistencia, que se utiliza en este modo para limitar la corriente de equilibrado.

La Figura 12a ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 en modo inactivo o en reposo. El RESS se puede aislar abriendo el relé (8) de protección. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B1 tiene un estado de carga bajo y, por lo tanto, una mayor necesidad de corriente de carga. La corriente de carga  $I_{B1}$  se suministra a la celda B1 desde las celdas B3 y B4. Los dispositivos de conmutación o conmutadores S9 y S10 están apagados. La corriente de equilibrado  $I_{B1}$  fluye a través del conmutador S11 y el diodo D12, que está en serie con el conmutador S11. Luego fluye a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S20 y S21 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19, S23 y S22 que están apagados. La corriente  $I_{B1}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S21 y S2 y el diodo D1 que está en serie con el S2 y en paralelo con el conmutador S1 que está apagado. La corriente de carga para la celda B1 es  $I_{B1}$ . El valor de la corriente  $I_{B1}$  viene determinado por la caída de tensión en las celdas B3 y B4 en serie menos la caída de tensión en la celda B1, por la impedancia resistiva en el circuito S11, D12, S20, R1, S21, S2, D1, S3, D4, S18, D17 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B1}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas (no se muestran) que añaden más resistencias como la R2 a la resistencia R1 y controlarse mediante un conmutador o dispositivo de conmutación.

La Figura 12b ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 en modo inactivo. El RESS se puede aislar abriendo el relé (8) de protección. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B2 tiene un estado de carga bajo y, por lo tanto, una mayor necesidad de corriente de carga. La corriente de carga  $I_{B2}$  para la celda B2 se suministra a la celda B2 desde las celdas B3 y B4, los dispositivos de conmutación o los conmutadores S9 y el conmutador S10 están apagados. La corriente de equilibrado  $I_{B2}$  fluye a través del conmutador S11 y el diodo D12 que está en serie con el conmutador S11. Luego fluye a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S20 y S21 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S22, S23 y S19 que están apagados. La corriente  $I_{B2}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores o dispositivos de conmutación S21 y S6 y el diodo D5 que está en serie con el S6 en paralelo con el conmutador S5 que está apagado. El valor de la corriente  $I_{B2}$  viene determinado por la caída de tensión en las celdas B3 y B4 menos la caída de tensión en la celda B2 dividida por la impedancia resistiva en el circuito S11, D12, S20, R1, S21, S6, D5, S7, D8, S18, D17 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B2}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1 controladas por un dispositivo de conmutación o conmutador.

La Figura 12c ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 en modo inactivo. El RESS se puede aislar abriendo el relé (8) de protección. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B3 tiene un estado de carga bajo y, por lo tanto, una mayor necesidad de corriente de carga. Los dispositivos de conmutación o conmutadores S9 y S10 están apagados. La corriente de equilibrado  $I_{B3}$  se proporciona mediante las celdas B1 y B2 y fluye a través del conmutador S1 y el diodo D2 que está en serie con el conmutador S1. Luego fluye a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19 y S22 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S20, S23 y S21 que están apagados. La corriente  $I_{B3}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores o dispositivos de conmutación S22 y S12 y el diodo D11 que está en

serie con el S12 en paralelo con el conmutador S11 que está apagado. El valor de la corriente  $I_{B3}$  viene determinado por la caída de tensión en las celdas B1 y B2 en serie menos la caída de tensión en B3 dividida por la impedancia resistiva en el circuito S1, D2, S19, R1, S22, S12, D11, S13, D14, S8, D7 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B3}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1 controladas por un dispositivo de conmutación o conmutador.

La Figura 12d ilustra el paquete de celdas RESS de las Figuras 1 y 2 en modo inactivo. El RESS se puede aislar abriendo el relé (8) de protección. La unidad (9) de control ha determinado que la celda B4 tiene un estado de carga bajo y, por lo tanto, una necesidad de corriente de carga. Los dispositivos de conmutación o conmutadores S9 y S10 están apagados. La corriente de equilibrio  $I_{B4}$  se proporciona mediante las celdas B1 y B2 y fluye a través del conmutador S1 y el diodo D2 que está en serie con el conmutador S1. Luego fluye a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S19 y S22 y no a través de los dispositivos de conmutación o conmutadores S20, S23 y S21 que están apagados. La corriente  $I_{B4}$  fluye a través del dispositivo 5 óhmico individual, es decir, la resistencia individual R1 y a través de los conmutadores o dispositivos de conmutación S22 y S16 y el diodo D15 que está en serie con el S16 en paralelo con el conmutador S15 que está apagado. El valor de la corriente  $I_{B4}$  viene determinado por la caída de tensión en las celdas B1 y B2 en serie menos la caída en B4 dividida por la impedancia resistiva en el circuito S1, D2, S19, R1, S22, S16, D15, S17, D18, S8, D7 que incluye la resistencia de la resistencia R1. Si se desea una corriente más alta, se puede encender el dispositivo de conmutación o el conmutador S24 y la resistencia R2 se conecta en paralelo con R1, por lo que se reduce la resistencia y se aumenta la corriente  $I_{B4}$ . Se pueden añadir más rutas paralelas que añaden más resistencias como la R2 (no se muestra) a la resistencia R1 controladas por un dispositivo de conmutación o conmutador.

Figura 12: Cuatro casos de funcionamiento del modo de equilibrado en serie y en paralelo durante el tiempo de reposo mediante el uso de una sola resistencia: a) transferir energía de la celda 3 y la celda 4 de la celda de la batería 1, b) transferir energía de la celda 3 y la celda 4 de la celda de la batería 2, c) transferir energía de la celda 1 y la celda 2 de la celda de la batería 3, y d) transferir energía de la celda 1 y la celda 2 de la celda de la batería 4

Además, las realizaciones de la presente invención proporcionan la capacidad de integrar el RESS, como un paquete de baterías, en una red eléctrica mediante la carga y descarga desde el mismo puerto, como se muestra en la Figura 2.

Además, como se muestra en la Figura 13, las realizaciones de la presente invención tienen la capacidad de cargar y descargar las baterías desde diferentes puertos mediante el uso de un cargador (20) de CC independiente.

El cargador (20) de CC externo se puede conectar o ser conectable a un punto de unión entre los dispositivos de conmutación o los conmutadores S21 a S22. Estos dispositivos de conmutación o conmutadores controlan el acceso a las celdas B1 a B4. El RESS se puede aislar abriendo el relé (8) de protección.

Por ejemplo, la ruta de corriente desde el cargador (20) de CC puede ser a través del dispositivo de conmutación o el conmutador S21 (S23 está apagado) S2, D1, las celdas de carga B1 y B2, a través del conmutador S7 y D8 en serie con S7 y desde allí a tierra. Así se cargan las celdas B1 y B2. Si solo se va a cargar B1, entonces la ruta de retorno a tierra puede ser a través del conmutador de encendido S3 y el diodo D4 en serie con S3 a tierra. Si solo se va a cargar B2, la ruta desde el cargador 20 de CC pasa a través del conmutador S6 con el diodo D5 en serie con el conmutador S6 y el retorno a tierra es a través de S7 y D8.

Una segunda ruta de carga es desde el cargador (20) de CC (en paralelo a las rutas de carga mencionadas anteriormente), a través del conmutador de encendido S22, el conmutador S12 y el diodo D11 en serie, las celdas de carga B3 y B4, a través del conmutador S17 y el diodo D18 en serie con S17 a tierra. Si solo se va a cargar B3, la ruta de retorno a tierra puede ser a través de S13 y el diodo D14. Si solo se va a cargar B4, la ruta desde el cargador (20) es a través de los conmutadores de encendido S22 y S16 y el diodo D15. El retorno a tierra se realiza mediante el conmutador S17 y el diodo D18 a tierra.

Para validar el rendimiento del modo de equilibrado en serie y en paralelo en comparación con el modo de equilibrado pasivo mediante el uso de una resistencia óhmica individual, se usaron las mismas condiciones iniciales (270 mV de diferencia en la tensión entre las celdas y 8% de diferencia en el SoC) para comparar entre dos modos de equilibrado como se muestra en la Figura 14. Para comprobar la capacidad de la estrategia de control propuesta para eliminar cualquier diferencia en el nivel de SoC, el SoC de la celda 1 y la celda 2 se ha ajustado al mismo nivel (100% de SoC) y el mismo SoC para la celda 3 y la celda 4 (92%).

Está claro en la Figura 14 que el modo de equilibrado pasivo pudo eliminar el desequilibrio más rápido (31 min) que usando el modo de equilibrado en serie y en paralelo (56 min). La selección del tiempo de equilibrado depende principalmente de la aplicación para identificar la cantidad de uso del paquete de baterías por día. Sin embargo, en la presente invención, el tiempo de equilibrado podría ajustarse cambiando el valor del dispositivo óhmico de equilibrado (es decir, la disminución de la resistencia óhmica de equilibrado, p. ej., mediante resistencias en paralelo) conlleva un aumento de la corriente de equilibrado y, por lo tanto, disminuye el tiempo de equilibrado).

Para ilustrar la principal ventaja de usar un modo en serie y en paralelo durante el tiempo de reposo, la Figura 16 muestra que el modo de equilibrado en serie y en paralelo tiene la capacidad de reducir la pérdida de energía en un 80% en comparación con el modo de equilibrado pasivo, porque el modo de equilibrado en serie y en paralelo proporciona una ruta de descarga entre las celdas de mayor y menor energía. Por ejemplo, como se puede observar en la Figura 15, el SoC de la celda 1 y la celda 2 disminuyó del 100% al 95% y el SoC de la celda 3 y la celda 4 aumentó del 92% al 94,5% a causa del uso del modo de equilibrado en serie y en paralelo. En el modo pasivo, el SoC de la celda 1 y la celda 2 disminuyó un 6% al disipar la energía en la resistencia óhmica individual.

#### Estrategias de control de modulación por ancho de pulso (PWM)

Para superar el desequilibrio de la tensión y el SoC entre las celdas que están conectadas en serie, se desarrolló una estrategia de control basada en la técnica PWM como se muestra en la Figura 17 que se puede utilizar con cualquiera de las realizaciones de la presente invención. Como se describe anteriormente, los modos de equilibrado dependen principalmente de descargar la energía de la celda de mayor energía a la celda de menor energía (en el caso del modo en serie y en paralelo) o de disipar la energía en una resistencia óhmica individual (en el caso del modo pasivo), lo cual significa que el equilibrado se realiza en una forma de equilibrado, celda por celda. En esta sección se describe la estrategia de control que se ha diseñado para baterías de iones de litio, por ejemplo.

Sin embargo, este control puede modificarse para utilizarse en diferentes tecnologías de almacenamiento de energía. En el caso de celdas de batería de iones de litio, la tensión OCV es casi plana y la diferencia entre la tensión al 100% del SoC y al 0% del SoC es de alrededor de 600 mV. Por lo tanto, el sistema de gestión de baterías debe desconectar el paquete de baterías para protegerlo cuando la diferencia entre las tensiones de las celdas en el conjunto supera un valor límite, p. ej., más de 300 mV (durante el tiempo de reposo).

En la Figura 17, las entradas del esquema de control son la tensión de todas las celdas que están conectadas en serie. A continuación, se calculan las tensiones máxima y mínima para identificar la celda de energía más alta y más baja en función de la tensión de la celda. Posteriormente, la diferencia de tensión ( $\Delta V$ ) (200) se limita (201) mediante el uso del bloque de saturación. La salida del bloque de saturación ( $\Delta V_L$ ) (202) varía entre 0 y 200 mV, y luego el valor por unidad (P.U) (203) ( $\Delta V_{LPU}$ ) (204) se calcula mediante ( $\Delta V_L$  (202) / 200 mV) con el objetivo de obtener la diferencia de tensión ( $\Delta V_{LPU}$ ) (204) cambiando de 0 a 1. La salida del bloque P.U (203) se compara con la onda (205) portadora (es decir, rampa positiva o rampa negativa u onda triangular) para generar la señal (206) de pulsos de conmutador. La señal (206) de pulsos de conmutador se utiliza como señales de activación para controlar los conmutadores. Por ejemplo, en modo pasivo, la señal de pulsos de conmutador se puede utilizar para activar los dispositivos de conmutación o conmutadores S1, S19, S23, S4 a fin de disminuir la alta energía de la celda de batería B1.

Como se puede observar en la Figura 18, la señal (209) de pulsos de conmutador puede generarse calculando los puntos de intersección entre las diferencias de tensión ( $\Delta V_{LPU}$ ) (208) y la onda portadora (207), as. La señal de pulsos se utiliza principalmente para abrir la ruta de descarga de la celda, que tiene la tensión máxima en comparación con el resto de las celdas del conjunto.

Se utiliza una forma de onda portadora para mantener la frecuencia del pulso constante. Para validar el rendimiento de la estrategia de control de PWM para implementar con exactitud los modos de equilibrado, se han diseñado e investigado diferentes modos de equilibrado basados en la estrategia de control de PWM.

#### Modo de prueba de impedancia de CA

Las realizaciones de la presente invención incluyen una o más pruebas de diagnóstico seleccionadas entre pruebas de diagnóstico de corriente, diagnóstico de tensión y diagnóstico de resistencia o impedancia, p. ej., como se indica en los documentos US 4.719.427 y US 4.361.809 que se incorporan en esta memoria por referencia. Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que no se necesita un generador de funciones externo con conmutadores para aplicar una señal sinusoidal tal como una señal sinusoidal pequeña para calcular la impedancia de CA de la celda de batería.

En esta realización, se proporciona un modo DFP o SoH para un sistema, procedimiento o dispositivo con la misma configuración (p. ej., conmutadores bidireccionales y unidireccionales opcionalmente conectados a un dispositivo óhmico individual, tal como una resistencia) que se utiliza para equilibrar, como se describe anteriormente con referencia a las Figuras 1, 2, 4, 5, 12, 13. No es necesario utilizar una alimentación externa. En esta realización, se estima un parámetro de diagnóstico de una celda o paquete de celdas, tales como celdas de batería, p. ej., el SoH. Por ejemplo, el SoH de una celda de almacenamiento de energía recargable se puede estimar a partir de los resultados de aplicar un modo de prueba de impedancia de CA. Por ejemplo, se puede aplicar una onda cuadrada o cuasi-cuadrada o, en general, una señal de modulación por ancho de pulso, p. ej., una señal de corriente, a una celda o celdas en un paquete de baterías y medir la señal de la tensión de respuesta. Para generar los pulsos, tales como los pulsos de corriente de onda cuadrada o cuasi-cuadrada, por ejemplo, se puede usar un DFP para, por ejemplo, seleccionar un grupo de celdas de todas las celdas B1 a B4. El grupo de celdas seleccionado se puede utilizar como fuente de CC para someter a prueba otro grupo de celdas de la misma batería y viceversa, p. ej., sin necesidad de una alimentación externa o un convertidor de CC/CC. El RESS se puede aislar mediante el relé (8) de protección.

Por ejemplo, se puede aplicar una corriente pulsada tal como una corriente de onda cuadrada o cuasi-cuadrada a una o más celdas y registrar la tensión de la señal de respuesta. La Figura 19 ilustra un diagrama (300) de flujo para esta realización para estimar el SoH y/o el SoC de una celda o celdas de batería. Este procedimiento comprende o consiste en una prueba de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS), p. ej., que comprende la etapa de aplicar una

5 forma de onda de corriente periódica (p. ej., una onda cuadrada) a una celda o celdas de batería sometidas a prueba y medir una forma de onda de la tensión de respuesta. Para generar la corriente de onda cuadrada, se puede usar un grupo de celdas como fuente de CC para someter a prueba otro grupo de celdas (p. ej., que comprende una o más celdas de la misma batería) y viceversa.

El procedimiento comienza en la etapa 302, y en la etapa 304 se aplica la señal de corriente periódica tal como una

10 señal de corriente de onda cuadrada a una o más celdas y se miden la señal de corriente aplicada y la una o más señales de la tensión de respuesta. En la etapa 306, la señal de tensión y corriente medida en el dominio del tiempo se transforma en el dominio de la frecuencia mediante el uso de DFT (transformada discreta de Fourier). A partir de las señales de tensión y corriente en el dominio de la frecuencia, se calcula una impedancia de CA de la celda o celdas de la batería en la etapa 308 dividiendo la tensión por la corriente en el dominio de la frecuencia, y luego la impedancia de resonancia (el valor más bajo de la impedancia de CA, por ejemplo, la impedancia de CA a 1 kHz (véase la Figura 21) se calcula para estimar el SoH de la celda o celdas de la batería en la etapa 309.

Para validar la capacidad del sistema de gestión de la invención que realiza el modo de prueba de CA, se muestran los resultados en la Figura 20.

Por ejemplo, en el caso 1 de la Figura 20, la celda B3 y la celda B4 se usan como una fuente de CC para aplicar el pulso positivo en la celda de batería B1, mientras que el pulso negativo se forma conectando la celda B1 en paralelo con R1.

20

La corriente de excitación y la señal de la tensión de respuesta se capturan en el dominio del tiempo y se transforman en el dominio de la frecuencia mediante el uso de DFT (transformada discreta de Fourier). A partir de las señales de tensión y corriente en el dominio de la frecuencia, se puede calcular una impedancia de CA de la batería como se ilustra en la Figura 21. Como se muestra en la Figura 21, la impedancia de resonancia ( $R_{im}$ ) representa el valor más bajo de la impedancia de CA, lo que indica que la parte imaginaria de la impedancia ( $\text{Im}\{Z\}=0$ ) es igual a cero. De hecho, la parte real es la única parte que permanece alrededor de 1 kHz (que es la frecuencia de resonancia). En consecuencia, en el punto de frecuencia de resonancia, las impedancias capacitiva e inductiva se anulan entre sí y, por lo tanto, la impedancia de la batería se vuelve puramente resistiva, lo que se denomina impedancia de resonancia o resistencia interna de la celda de batería. RIM se puede llevar a cabo en las celdas de batería independientemente de sus niveles de SoC, puesto que no hay efecto de los niveles de SoC en el valor  $R_{im}$ .

25

La impedancia de resonancia ( $R_{im}$ ) se ha calculado a partir de la zona de impedancia mínima, así como de la capacidad de diferentes tipos de batería mediante el uso de diferentes perfiles de ciclo de vida. Por lo tanto, independientemente o para su uso con cualquiera de las realizaciones de la presente invención, se proporcionan procedimientos, sistemas y dispositivos adaptados para determinar la relación entre el SoH y la impedancia de resonancia realizando el cálculo (véase la Figura 22) de la ecuación 1:

35

$$SoH = \frac{B^2}{(R_{im}-A)^2} - C \quad (1)$$

Donde C es una constante de calibración, que se puede utilizar para ajustar los límites de confianza de la curva. El valor de las constantes A y B se basan principalmente en el valor inicial de la impedancia de CA que a menudo se declara en la ficha técnica de la batería. Al 100% SoH dejar  $\sqrt{SoH+C}$  que  $SoH+C+C$  sea alrededor del 10%, donde C es una constante < 1% (p. ej., ~ 0,1537%). Dado que A y B son constantes, se pueden calcular de la siguiente manera:

40

Por lo tanto, estas constantes se calculan mediante el uso de las ecuaciones 2 y 3:

$$\frac{B}{10} - A = R_{inc} \quad (2)$$

$$B = (R_{im})_{m\acute{a}x} \quad (3)$$

45

Donde  $R_{inc}$  es la impedancia de resonancia inicial,  $(R_{im})_{m\acute{a}x}$  es el valor máximo de la impedancia de resonancia.

La ecuación (1) se puede reescribir de la siguiente manera:

$$R_{im} = A + \frac{B}{\sqrt{SoH+C}}$$

Para validar el modelo de envejecimiento, se sometieron a esta prueba baterías con diferentes tipos de química y tasas de capacidad y los resultados del SoH obtenidos se compararon con los resultados del SoH calculados mediante una prueba de capacidad basada en la capacidad restante y nominal de la batería. La Tabla 1 incluye una comparación de los resultados, y se puede observar que la diferencia en la estimación del SoH entre los dos procedimientos (impedancia de CA a la frecuencia de resonancia y prueba de capacidad) es de alrededor del 3%.

**Tabla 1: validación de la estimación del SoH**

| SoH de la prueba de capacidad (%) | SoH de la impedancia de resonancia (%) |
|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 83,48                             | <b>82,3</b>                            |
| 82,17                             | <b>81,2</b>                            |
| 82,23                             | <b>83,4</b>                            |
| 85,42                             | <b>84,3</b>                            |
| 84,62                             | <b>83,4</b>                            |
| 92,62                             | <b>90,62</b>                           |
| 90,79                             | <b>89,2</b>                            |

El SoH real se midió realizando pruebas de capacidad a  $I_t$  antes de aplicar el RIM para estimar el SoH de las celdas

de batería usadas.  $I_t$  (amperios) (corriente de prueba de referencia) se define como  $\left[ \frac{C_n(Ah)}{1(h)} \right]$ , donde  $C_n$  es la capacidad nominal de la celda y  $n$  es la base de tiempo (h). Como se puede observar en la Figura 24, la línea continua representa una diferencia cero entre el SoH real y el previsto. Si bien las celdas de las baterías de iones de litio se han sometido a prueba bajo diferentes condiciones de carga, es importante señalar que el mayor error obtenido fue del 4,1%. De hecho, el error promedio de los datos de validación (27 puntos) es del 2,8%.

Además, estas determinaciones de impedancia de CA a 1 kHz o también conocido como "procedimiento de impedancia de la resonancia" (RIM) se han realizado para estimar el estado de salud (SoH) de las celdas de la batería de iones de litio. Además, este procedimiento proporciona un régimen de prueba rápido, simple y exacto para someter a prueba, caracterizar y clasificar las baterías usadas de segunda vida. Todas las celdas de batería usadas se han sometido a un modo de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) potenciostática aplicando una tensión de CA pequeña (p. ej., 10 mV) sobre la tensión de CC de la batería y midiendo la corriente de respuesta dentro del intervalo de frecuencias de 50 mHz a 10 kHz mediante el uso de un dispositivo de espectroscopía de impedancia biológica y el software EC-lab V10,21. Para realizar este procedimiento, se han utilizado los resultados de EIS de 43 celdas de batería de iones de litio comerciales (LFP, NMC) para comprobar la capacidad de uso del RIM para estimar el SoH de las celdas de batería de iones de litio. La Tabla 2 ilustra los tipos de química de las celdas sometidas a prueba, indicando la forma de la batería y la capacidad de las celdas de batería de alta potencia y alta energía.

**Tabla 2: Especificaciones técnicas de las celdas de batería de iones de litio sometidas a prueba**

| Química de la batería | Tipo          | Forma | Capacidad | Tensión nominal | Número de celdas |
|-----------------------|---------------|-------|-----------|-----------------|------------------|
| LFP                   | Alta potencia | Bolsa | 7 Ah      | 3,3 V           | 25               |
|                       | Alta potencia | Bolsa | 14 Ah     | 3,3 V           | 2                |
| NMC                   | Alta potencia | Bolsa | 12 Ah     | 3,7 V           | 9                |
|                       | Energía alta  | Bolsa | 40 Ah     | 3,7 V           | 4                |
|                       | Energía alta  | Bolsa | 9,5 Ah    | 3,7 V           | 3                |

La impedancia de resonancia se ha medido a 1 kHz para todas las celdas de batería probadas, que se han sometido a diferentes pruebas de envejecimiento. La relación entre el estado de salud (%) y la impedancia  $R_{im}$  se muestran en la Figura 23. Está claro a partir de esta Figura que el valor de  $R_{im}$  está fuertemente relacionado con el estado de salud de la batería para todas las celdas de batería sometidas a prueba. De la Figura 23, los resultados de EIS revelan que la relación entre SoH y  $R_{im}$  solo parecía ser lineal entre el 100% del SoH y el 80% del SoH. Sin embargo, está claro que esta relación se volvió no lineal cuando el SoH de las celdas de la batería disminuyó por debajo del 80% del SoH.

Los procedimientos de estas realizaciones se pueden usar para identificar el final de la vida útil de baterías usadas o de segunda vida, por ejemplo, en aplicaciones estacionarias. Con estos procedimientos, la duración de la batería se puede predecir en función del valor de impedancia de la resonancia. El SoH más bajo de la batería de primera vida típicamente es de aproximadamente el 80%. A partir del modelo de envejecimiento según las realizaciones de la

presente invención, la diferencia de la impedancia de resonancia se divide por la diferencia del SoH asociada para calcular la tasa de aumento de  $R_{im}$  p. ej., por cada unidad de cambio del SoH, p. ej., por cada 1% de disminución en el SoH.

Para las baterías sometidas a prueba en el intervalo del 100% al 80% del SoH, el valor de  $R_{im}$  aumenta 0,08 mΩ con cada 1% que disminuye del SoH. La tasa de aumento de  $R_{im}$  aumenta con la disminución del SoH de la batería. Luego, por ejemplo, para el intervalo del 20% al 0% del SoH, el valor de  $R_{im}$  aumenta rápidamente en alrededor de 2,13 mΩ con cada 1% que disminuye del SoH. En consecuencia, las celdas de la batería que funcionan con un SoH del 20% al 0% pueden calentarse como consecuencia del aumento de su impedancia interna y también pueden hincharse. Además, las celdas de la batería a menos del 20% del SoH no pueden proporcionar energía durante más de 12 min a 11i.

Un procedimiento de evaluación basado en valores RIM para someter a prueba y clasificar baterías de segunda vida para determinar qué celdas de batería se consideran reutilizables según una realización de la presente invención incluye las siguientes etapas después de que las celdas usadas se hayan examinado visualmente para separar las celdas/módulos con daño físico evidente, fugas, capas oxidadas, deformación de la celda u otros signos de abuso, el procedimiento que comprende las etapas: verificación de la tensión mediante la cual se realizará una medición de tensión para identificar celdas/módulos que hayan fallado (por ejemplo, debido a cortocircuitos o separadores secos), y

proceso de evaluación mediante el cual se estima el SoH aplicando la metodología de impedancia de la resonancia y utilizando el modelo genérico de envejecimiento.

Para medir la impedancia de CA de las celdas de la batería, se puede usar un dispositivo EIS para generar una forma de onda sinusoidal a 1 kHz sobre la tensión de CC de las celdas de la batería y medir la corriente de respuesta. En la práctica, debido al uso de una señal sinusoidal muy pequeña (aproximadamente 10 mV o 10 mA), se necesita un filtro avanzado y un algoritmo sólido para calcular la impedancia de CA y eliminar la influencia del ruido y la interferencia de los dispositivos circundantes. Por lo tanto, se puede diseñar una señal periódica (es decir, en forma de onda cuadrada) a baja frecuencia (aproximadamente 100 mHz) con un filtro de paso bajo sencillo para evitar la influencia del ruido o cualquier interferencia en la unidad de medida. Este procedimiento se puede implementar fuera de línea para someter a prueba y clasificar las celdas de batería de segunda vida o en línea como una función del sistema de gestión de batería para estimar el SoH de las celdas de batería.

Los procedimientos según la presente invención se pueden realizar mediante una unidad (9) de control con capacidad de procesamiento tal como la proporcionada por uno o más microprocesadores, FPGA o una unidad central de procesamiento (CPU) y/o una unidad de procesamiento de gráficos (GPU), y que está adaptada para llevar a cabo las funciones respectivas mediante la programación con software, es decir, uno o más programas informáticos. Las referencias a software pueden abarcar cualquier tipo de programa en cualquier lenguaje ejecutable directa o indirectamente por un procesador, ya sea a través de un lenguaje compilado o interpretativo. La implementación de cualquiera de los procedimientos de la presente invención puede realizarse mediante circuitos lógicos, hardware electrónico, procesadores o circuitos que pueden abarcar cualquier tipo de circuitos lógicos o analógicos, integrados en cualquier grado, y sin limitarse a procesadores de propósito general, procesadores de señales digitales, ASIC, FPGA, componentes discretos o puertas lógicas de transistores y similares.

Dicha unidad (9) de control puede tener memoria (tal como un medio no transitorio legible por ordenador, RAM y/o ROM), un sistema operativo, opcionalmente una pantalla tal como una pantalla de formato fijo, puertos para dispositivos de entrada de datos tal como un teclado, un dispositivo puntero tal como un "ratón", puertos en serie o paralelos para comunicar otros dispositivos, tarjetas de red y conexiones para conectarse a cualquiera de las redes.

El software se puede adaptar para realizar un procedimiento de gestión para dispositivos de almacenamiento de energía recargables que comprende celdas de almacenamiento de energía conectadas en serie y dispositivos de conmutación para dividir las celdas de energía conectadas en serie en grupos de celdas, el procedimiento que comprende: activar los dispositivos de conmutación para seleccionar cualquier equilibrado de celdas con alimentación externa o con alimentación interna y una prueba de diagnóstico con alimentación interna. El software se puede incorporar en un producto de programa informático adaptado para llevar a cabo las funciones detalladas a continuación cuando el software se carga en el controlador y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento, tal como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc. Por lo tanto, una unidad (9) de control para su uso con cualquiera de las realizaciones de la presente invención puede incorporar un sistema informático que puede ejecutar una o más aplicaciones informáticas en forma de software informático.

El procedimiento anterior se puede realizar mediante uno o más programas de aplicaciones informáticas que se ejecutan en el sistema informático cargándolos en una memoria y se ejecutan en o están asociadas con un sistema operativo, tal como, Windows™ suministrado por Microsoft Corp, USA, Linux, Android o similar. El sistema informático puede incluir una memoria principal, preferiblemente una memoria de acceso aleatorio (RAM), y también puede incluir una unidad de disco duro no transitoria y/o una memoria no transitoria extraíble y/o una memoria de estado sólido no transitoria. La memoria extraíble no transitoria puede ser un disco óptico tal como un disco compacto (CD-ROM o DVD-ROM), una cinta magnética, que se lee y se escribe mediante un lector adecuado. La memoria extraíble no

transitoria puede ser un medio legible por ordenador que tenga almacenados software y/o datos informáticos. La memoria de almacenamiento no volátil se puede utilizar para almacenar información persistente que no debería perderse si se apaga el sistema informático. Los programas de aplicación pueden usar y almacenar información en la memoria no volátil.

- 5 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para realizar las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento, tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.: un dispositivo óhmico individual que determina el nivel de la corriente de equilibrado, y/o

- 10 un dispositivo óhmico adicional conectado en paralelo con el dispositivo óhmico individual para cambiar el valor de la resistencia para determinar el nivel de la corriente de equilibrado.

El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.: activación de los dispositivos de conmutación bidireccional y unidireccional para seleccionar los modos de funcionamiento.

- 15 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento, tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.:

Usar un grupo de celdas para aplicar una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas. Una etapa posterior es medir una señal de la tensión de respuesta en la corriente de excitación.

- 20 El software incorporado en el producto de programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.: los modos de equilibrado de alimentación externa en modo de equilibrado pasivo durante la carga o descarga del RESS, y/o equilibrado de celdas con alimentación interna en un equilibrado de modo en serie y en paralelo durante un tiempo de reposo.

- 25 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para realizar las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.: un modo de equilibrado pasivo que protege las celdas de almacenamiento de energía recargables contra la sobrecarga o la sobredescarga.

- 30 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.: un modo en serie y en paralelo que realiza el equilibrado completo de las celdas de almacenamiento de energía recargables durante un tiempo de reposo.

- 35 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento, tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.:

convertir las señales de la tensión de respuesta del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante el uso de una transformada discreta de Fourier y medios para calcular la impedancia de CA en función de los niveles de frecuencia. Una etapa posterior es calcular una impedancia de CA para estimar el SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables.

- 40 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento, tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.: estimación del SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante el uso de un modelo genérico de envejecimiento.

- 45 El software incorporado en el producto del programa informático está adaptado para llevar a cabo las siguientes funciones cuando el software se carga en el dispositivo o dispositivos respectivos y se ejecuta en uno o más motores de procesamiento, tales como microprocesadores, ASIC, FPGA, etc.:

El modelo genérico de envejecimiento relaciona la impedancia de resonancia con el estado de carga, por ejemplo, en

el modelo, la impedancia de resonancia se define por:  $R_{im} = A + \frac{B}{\sqrt{SoH+C}}$ ; en el cual A, B y C son constantes.

- 50 Cualquiera de los programas anteriores puede implementarse como un producto de programa informático que se ha compilado para un motor de procesamiento en cualquiera de los servidores o nodos de la red. El producto del programa informático puede almacenarse en un medio de almacenamiento de señal no transitorio, tal como un disco óptico (CD-ROM o DVD-ROM), una cinta magnética digital, un disco magnético, una memoria de estado sólido tal como una memoria flash USB, una ROM, etc.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de gestión para dispositivos de almacenamiento de energía recargables que comprende celdas de almacenamiento de energía conectadas en serie (B1, B2, B3, B4, Bn) y una unidad (9) de control, caracterizado por que dicho sistema de gestión además comprende
- 5
  - un circuito (2) de división de celdas que comprende conmutadores (S9, S10) configurados para dividir las celdas de almacenamiento de energía conectadas en serie (B1, B2, B3, B4, Bn) en grupos de celdas,
  - un circuito (3) de selección de modo que comprende dispositivos de conmutación y un dispositivo (5) óhmico individual y en el que los dispositivos de conmutación están configurados para seleccionar cualquiera de:
    - 10
      - a) equilibrado de celdas con alimentación externa, en el que el equilibrado de las celdas con alimentación externa es un modo de equilibrado pasivo durante la carga o descarga de los dispositivos de almacenamiento de energía recargables,
      - b) equilibrado de celdas con alimentación interna, en el que el equilibrado de las celdas con alimentación interna es un equilibrado de modo en serie y en paralelo durante un tiempo de reposo, y
      - 15
        - c) una prueba de diagnóstico con alimentación interna para la estimación del estado de salud o del estado de carga, en la que un grupo de celdas de dichos grupos de celdas divididas con el circuito (2) de división de celdas está adaptado para aplicar una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas de dichos grupos de celdas,
- y en el que dicho dispositivo (5) óhmico individual determina un nivel de la corriente de equilibrado para dicho equilibrado pasivo y para dicho equilibrado de modo en serie y en paralelo.
- 20 2. El sistema de gestión de la reivindicación 1 que además comprende un dispositivo (6) óhmico adicional conectado en paralelo con el dispositivo (5) óhmico individual para cambiar un valor de resistencia que determina el nivel de la corriente de equilibrado.
3. El sistema de gestión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los dispositivos de conmutación del circuito de selección de modo comprenden conmutadores bidireccionales y unidireccionales.
- 25 4. El sistema de gestión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho modo de equilibrado pasivo está adaptado para proteger las celdas de almacenamiento de energía recargables contra la sobrecarga o la sobredescarga.
5. El sistema de gestión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho modo en serie y en paralelo está adaptado para completar el equilibrado de las celdas de almacenamiento de energía recargables durante el
- 30 6. El sistema de gestión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende medios para medir una señal de la tensión de respuesta en la corriente de excitación.
7. El sistema de gestión de la reivindicación 6, que además comprende medios para convertir las señales de la tensión de respuesta en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante el uso de una transformada discreta de Fourier y medios para calcular una impedancia de CA en función de los niveles de frecuencia, y en el que el sistema de gestión está adaptado además para estimar el SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante el uso de dicha impedancia de CA.
- 35 8. El sistema de gestión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, adaptado para estimar un SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante el uso de un modelo genérico de envejecimiento.
- 40 9. Un procedimiento de gestión para dispositivos de almacenamiento de energía recargables que comprende celdas de almacenamiento de energía conectadas en serie (B1, B2, B3, B4, Bn) y un circuito (3) de selección de modo que comprende dispositivos de conmutación y un dispositivo (5) óhmico individual, el procedimiento que comprende:
  - activar los dispositivos de conmutación del circuito (3) de selección de modo para seleccionar cualquiera de:
    - 45
      - a) equilibrado de celdas con alimentación externa, en el que el modo de equilibrado con alimentación externa es un modo de equilibrado pasivo durante la carga o descarga de los dispositivos de almacenamiento de energía recargables,
      - b) equilibrado de celdas con alimentación interna, en el que el equilibrado de las celdas con alimentación interna es un equilibrado de modo en serie y en paralelo durante un tiempo de reposo, y
      - c) una prueba de diagnóstico con alimentación interna para la estimación del estado de salud o del estado de carga,

- cuando se selecciona la prueba de diagnóstico con alimentación interna, dividir las celdas de energía conectadas en serie en grupos de celdas y aplicar con un grupo de celdas de dichos grupos de celdas una corriente de excitación para someter a prueba otro grupo de celdas de dichos grupos de celdas,
  - cuando se selecciona el equilibrado de modo pasivo o en serie y en paralelo, se utiliza el dispositivo (5) óhmico individual para determinar un nivel de la corriente de equilibrado y extraer la corriente de equilibrado o inyectar la corriente de equilibrado en una o más celdas de energía recargables.
- 5
10. El procedimiento de gestión de la reivindicación 9, que además comprende cambiar un valor de resistencia que determina el nivel de la corriente de equilibrado usando un dispositivo (6) óhmico adicional conectado en paralelo con el dispositivo (5) óhmico individual.
- 10
11. El procedimiento de gestión de la reivindicación 9 o 10, en el que dicho modo de equilibrado pasivo está adaptado para proteger las celdas de almacenamiento de energía recargables contra la sobrecarga o la sobredescarga, y/o en el que dicho modo en serie y en paralelo está adaptado para completar el equilibrado de las celdas de almacenamiento de energía recargables durante el tiempo de reposo.
- 15
12. El procedimiento de gestión de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que además comprende medir una señal de la tensión de respuesta en la corriente de excitación.
13. El procedimiento de gestión de la reivindicación 12, que además comprende convertir señales de la tensión de respuesta en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante el uso de una transformada discreta de Fourier y calculando una impedancia de CA en función de los niveles de frecuencia y estimando el SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante el uso de dicha impedancia de CA.
- 20
14. El procedimiento de gestión de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, que además comprende estimar un SoH de las celdas de almacenamiento de energía recargables mediante el uso de un modelo genérico de envejecimiento.
15. Un producto de programa informático que, cuando se ejecuta en un motor de procesamiento, implementa un sistema de gestión de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 o el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14.
- 25
16. Medios de almacenamiento de señales no volátiles que almacenan el programa informático producto de la reivindicación 15.

Fig. 1

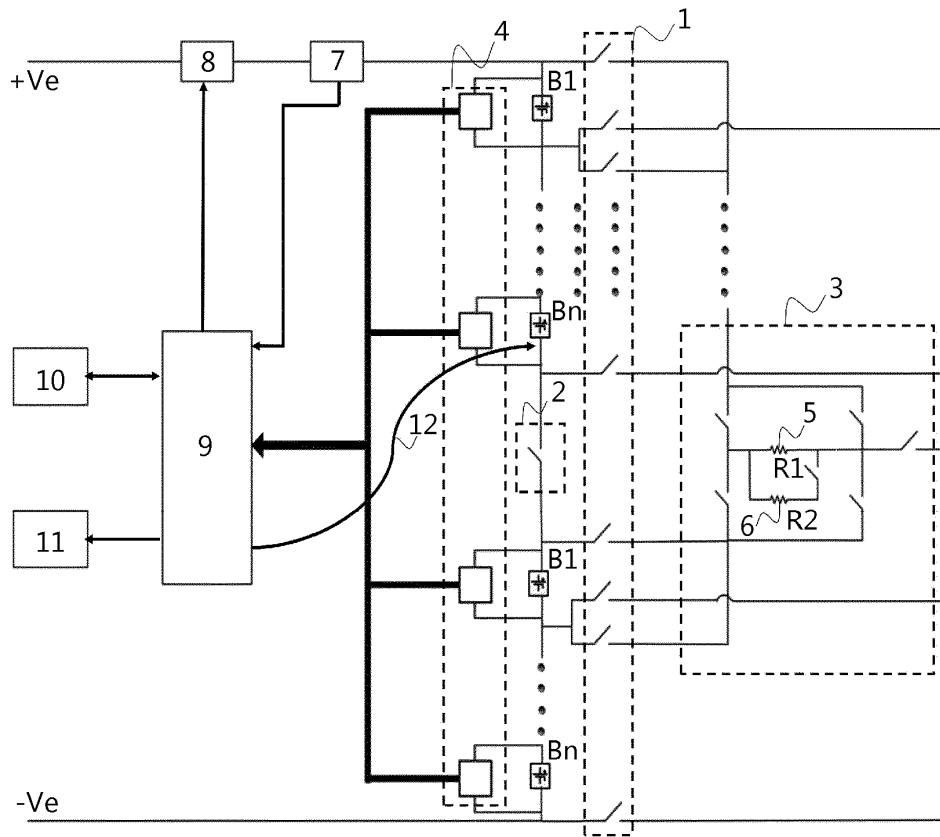


Fig. 2

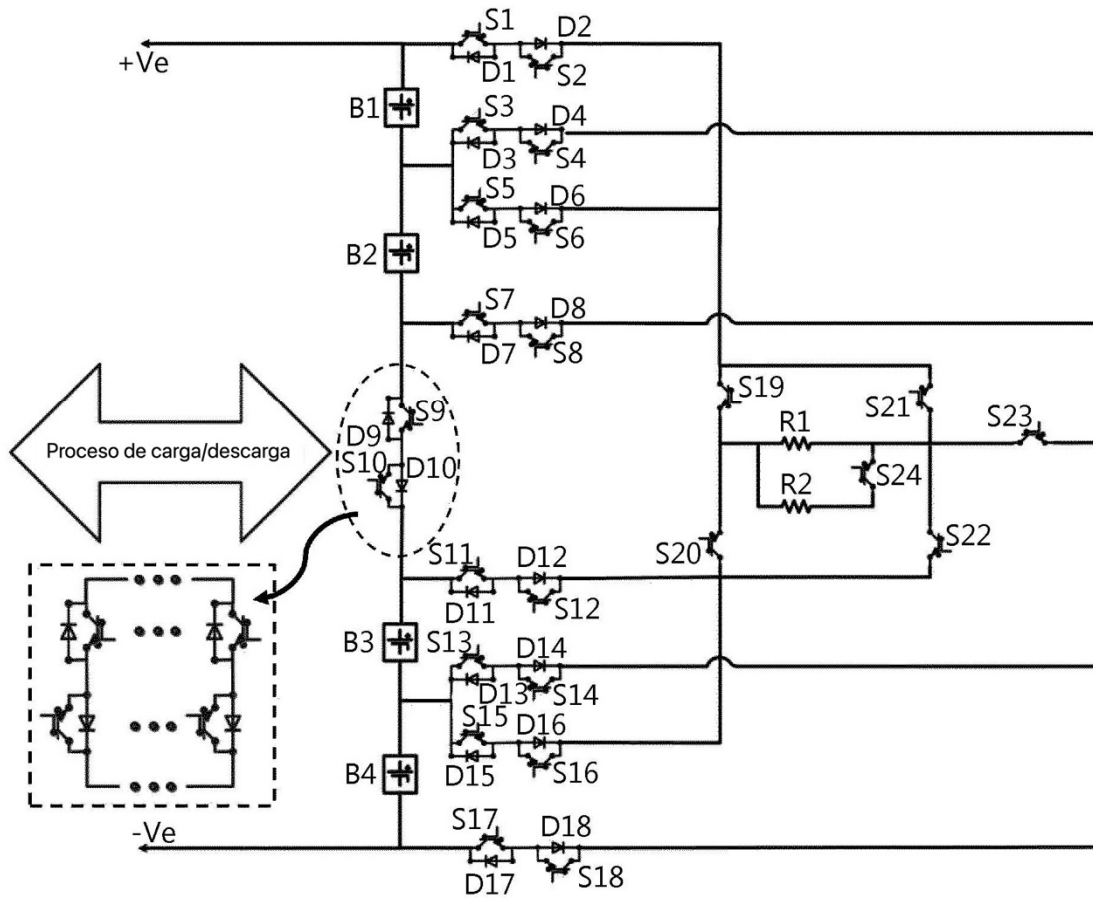


Fig. 3

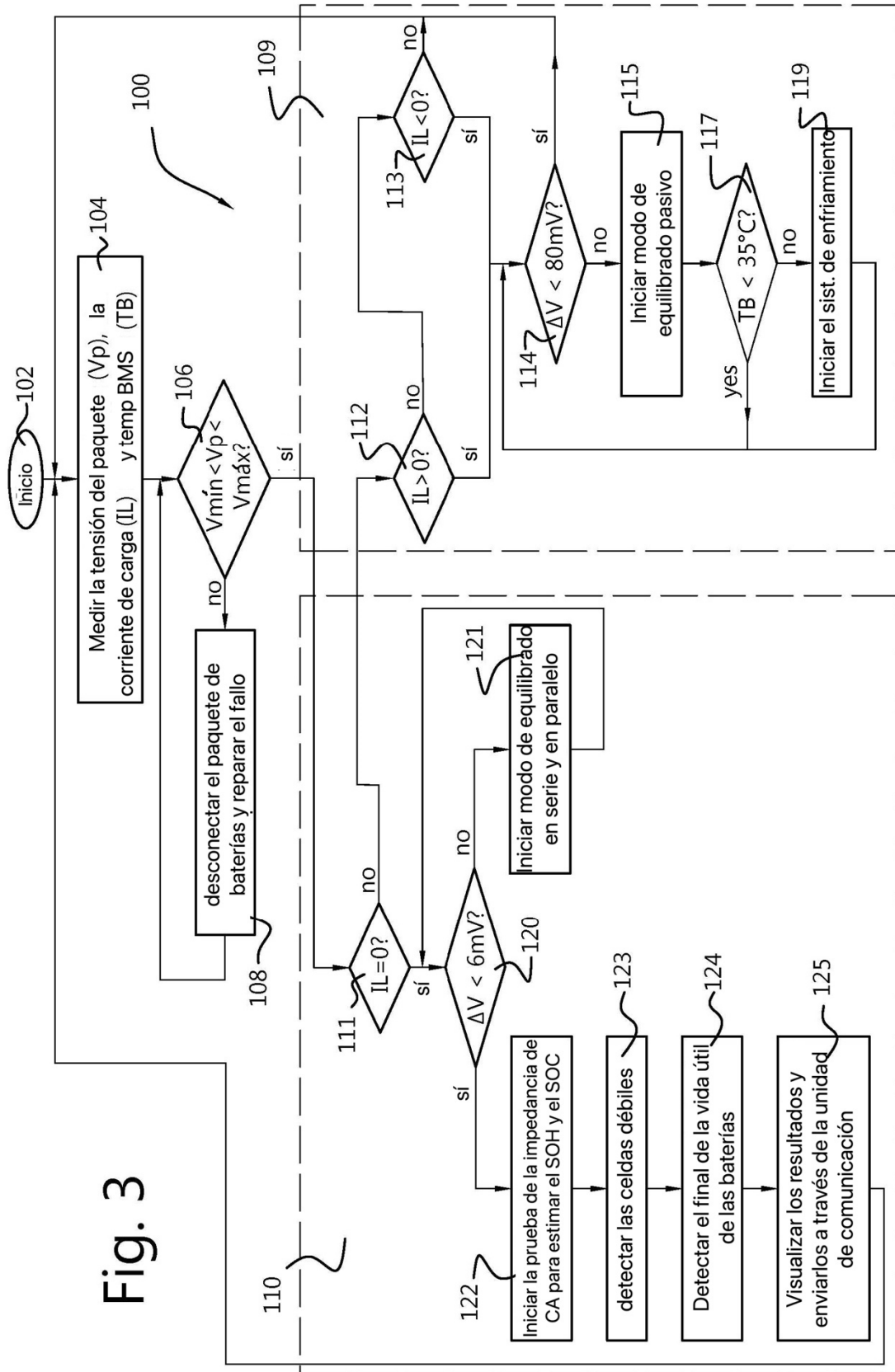


Fig. 4A

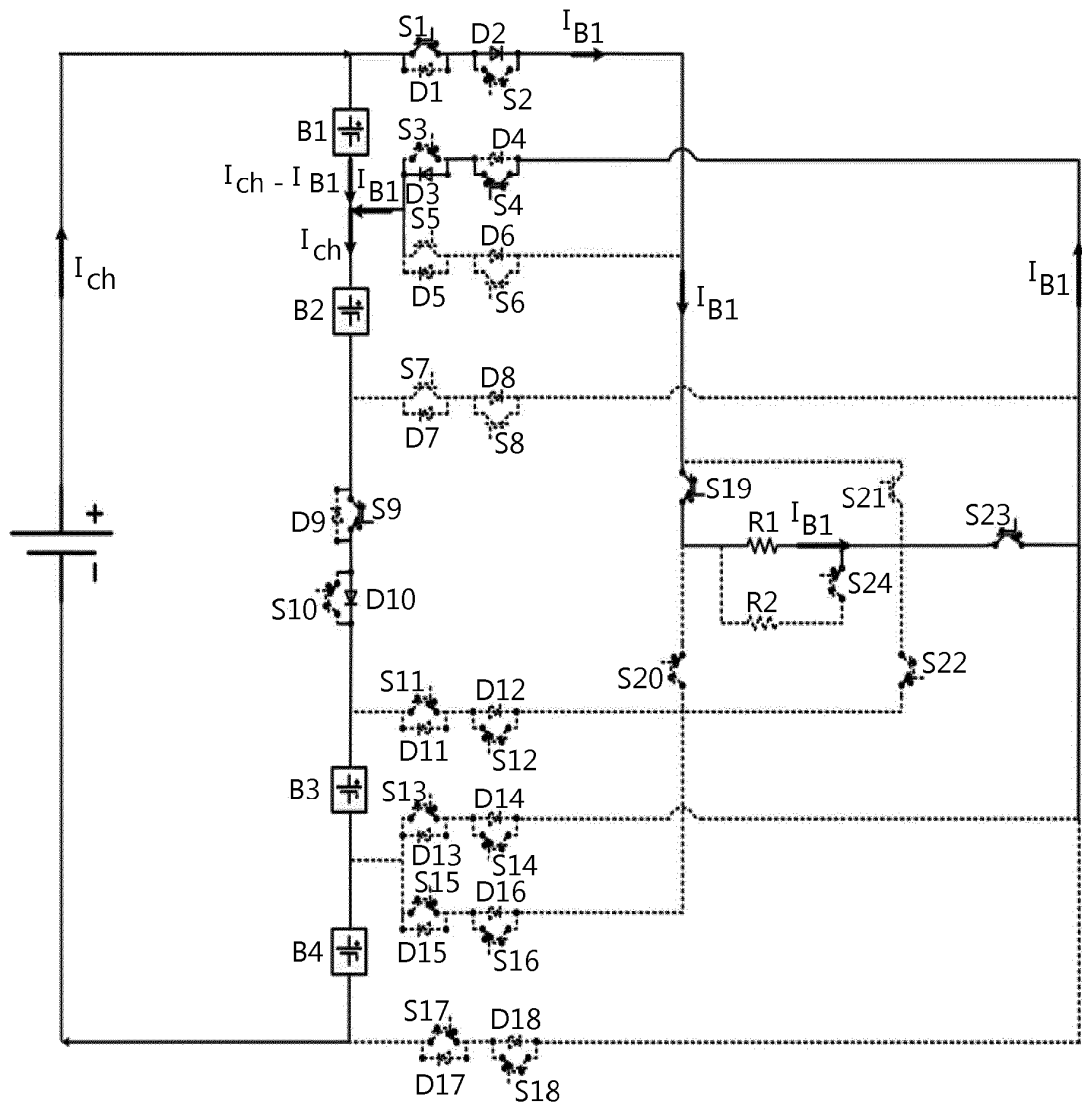


Fig. 4B

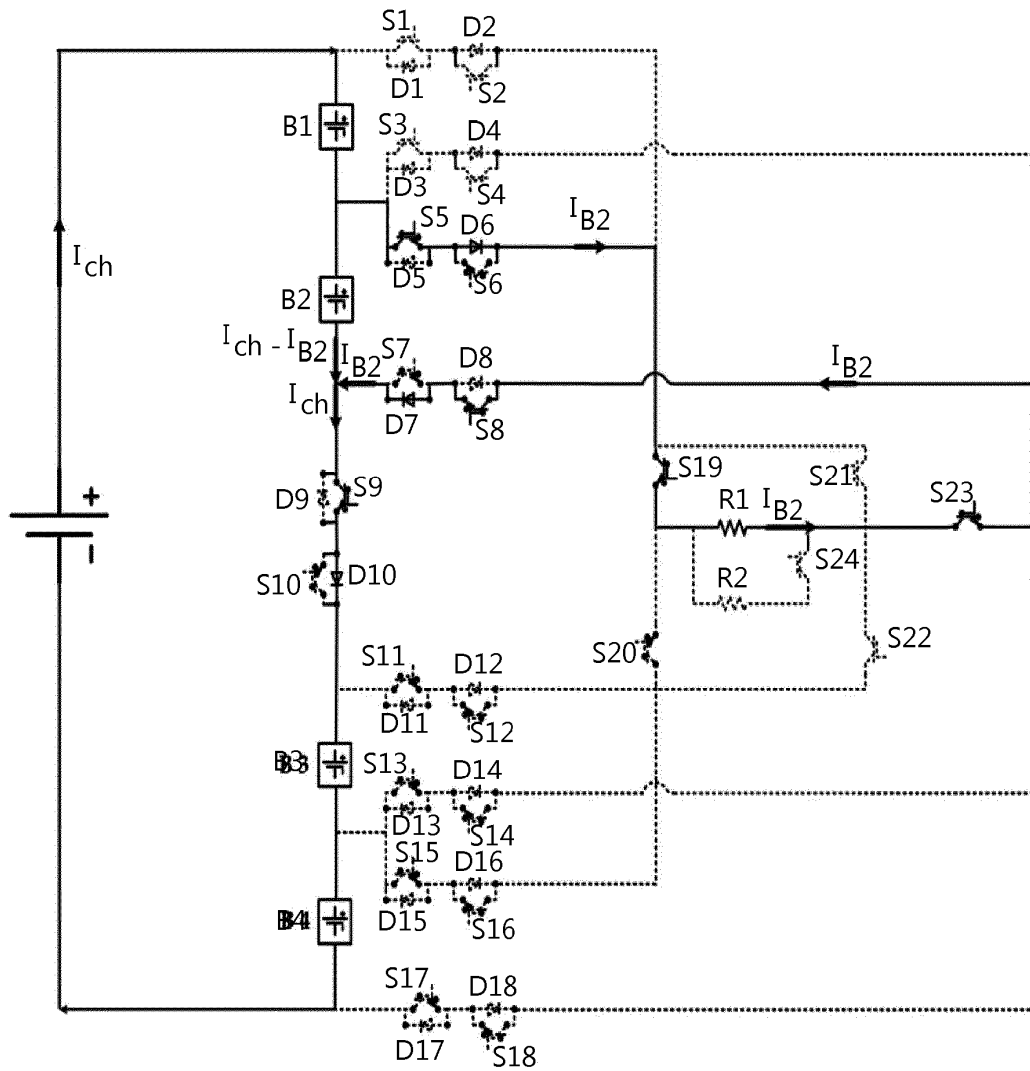


Fig. 4C

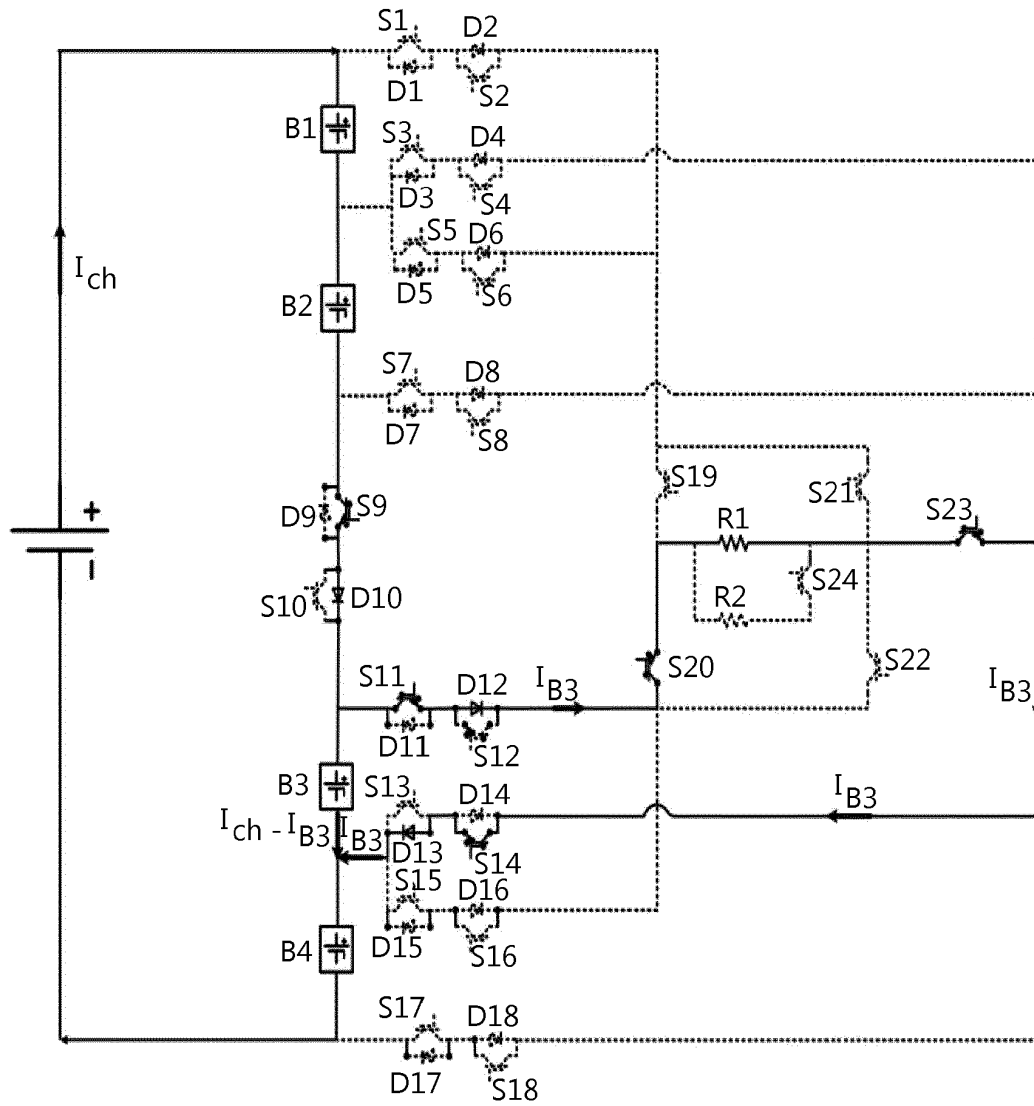




Fig. 5A

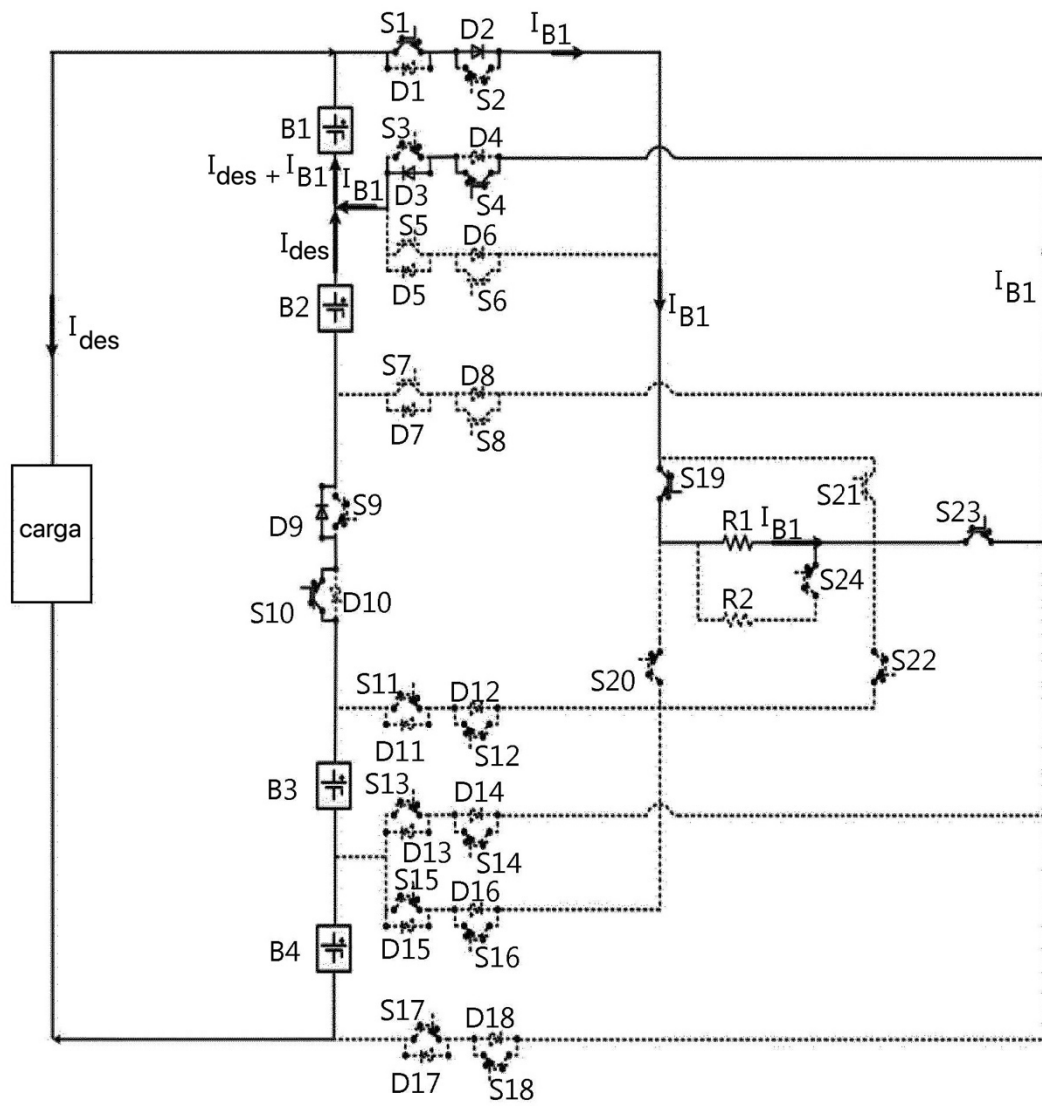


Fig. 5B

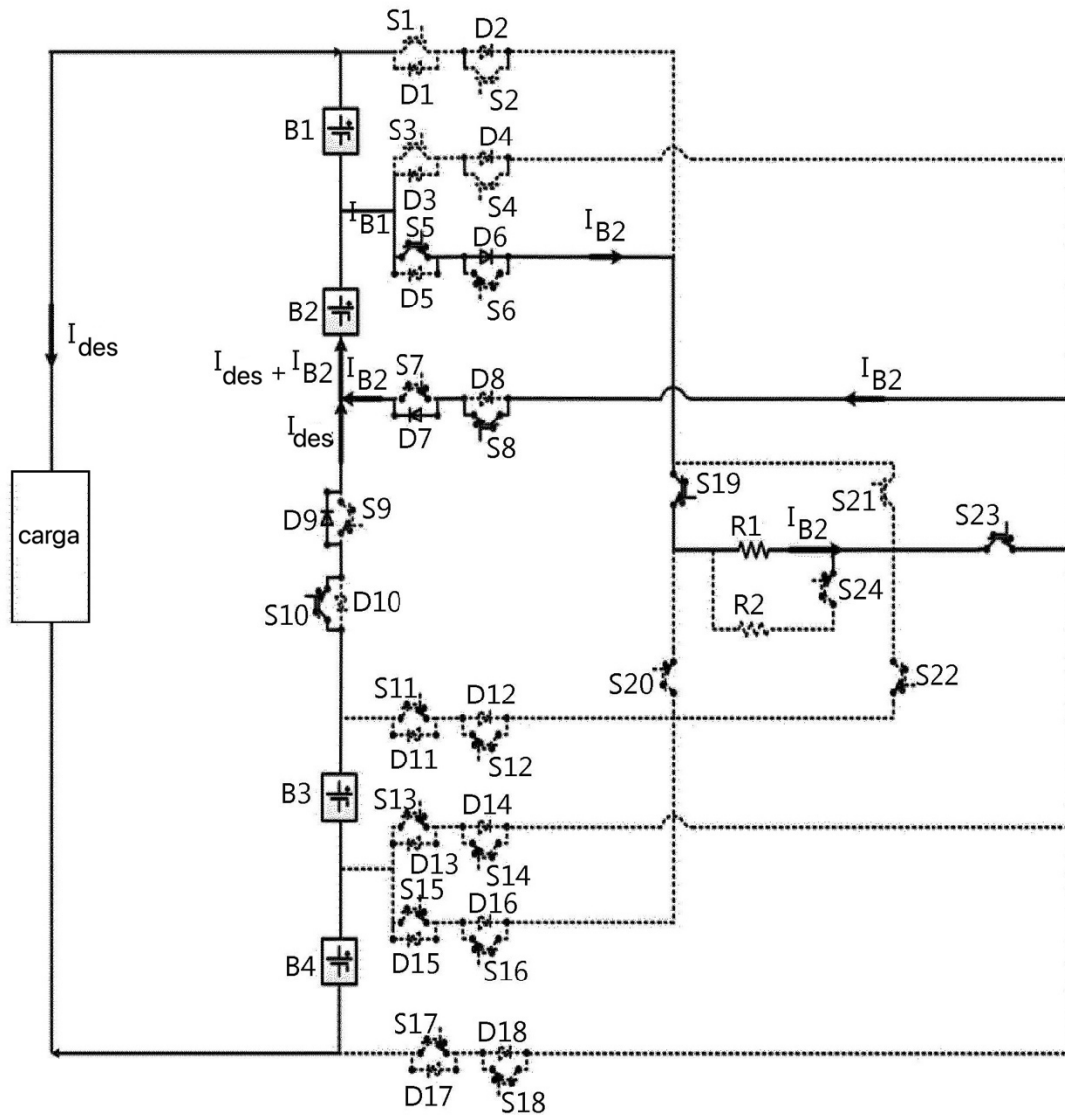


Fig. 5C

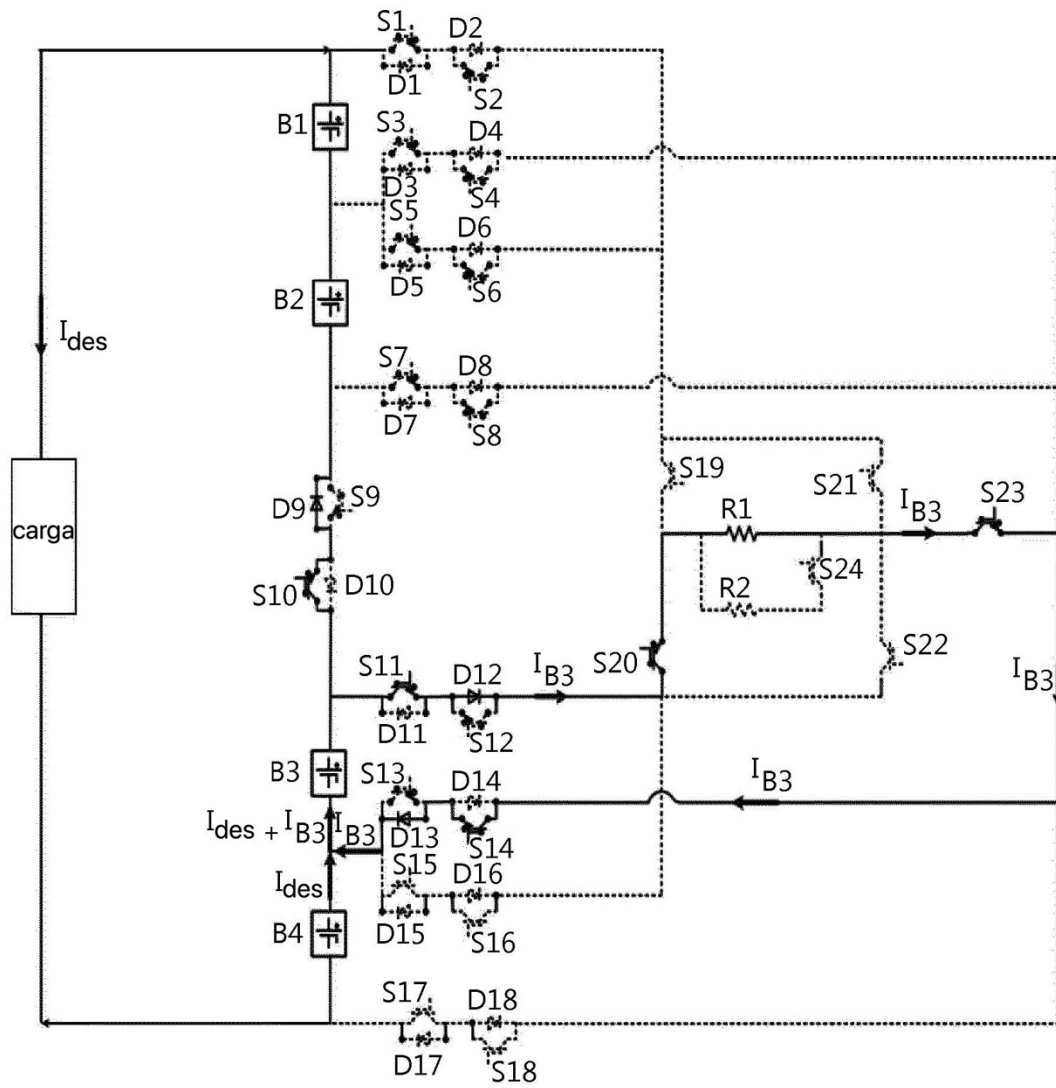


Fig. 5D

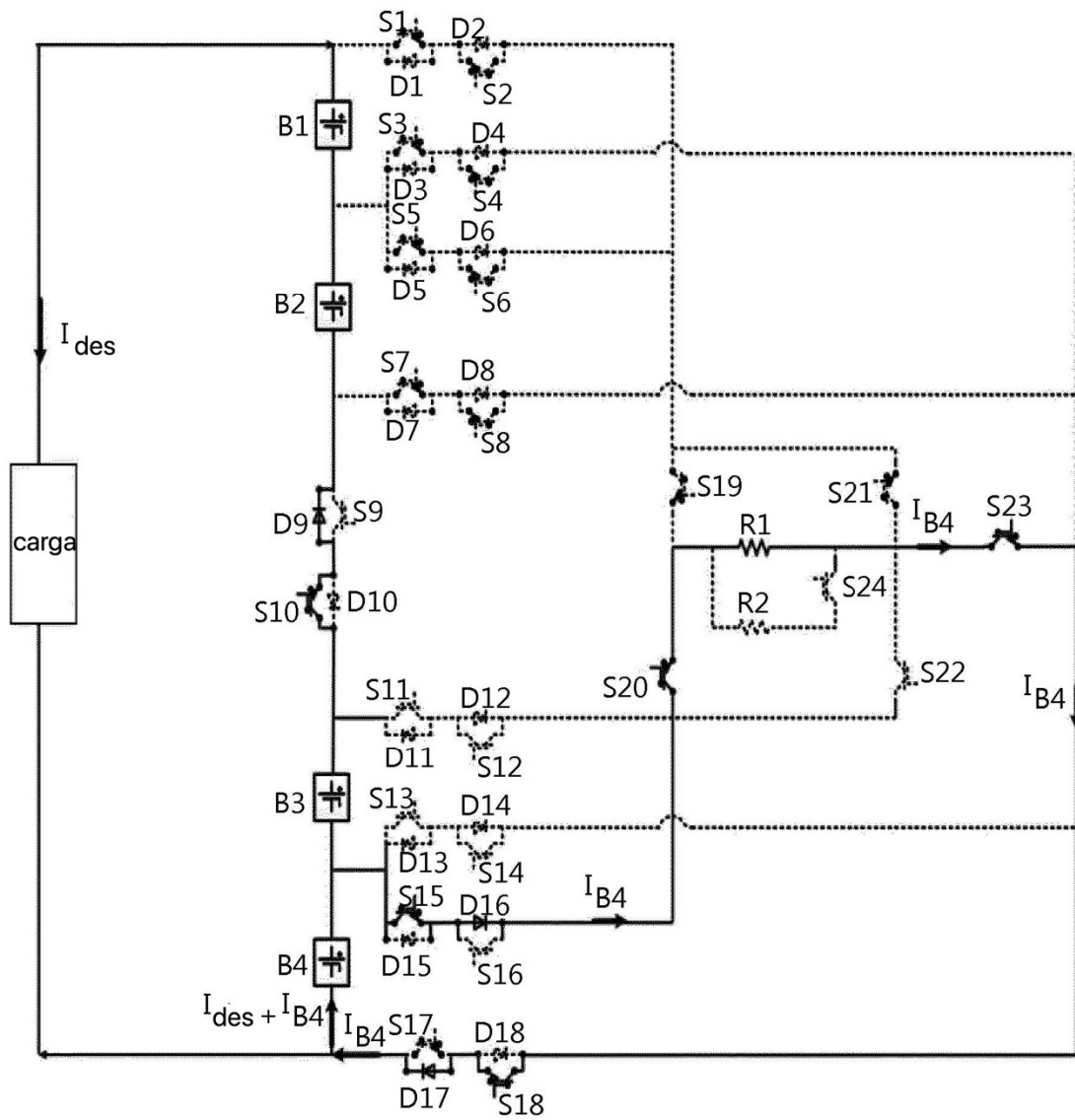


Fig. 6

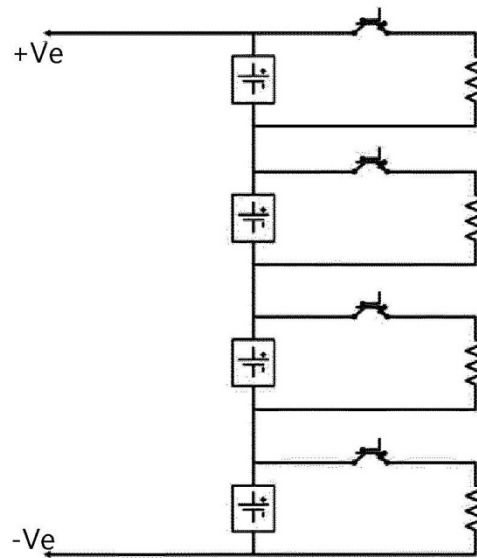


Fig. 7A

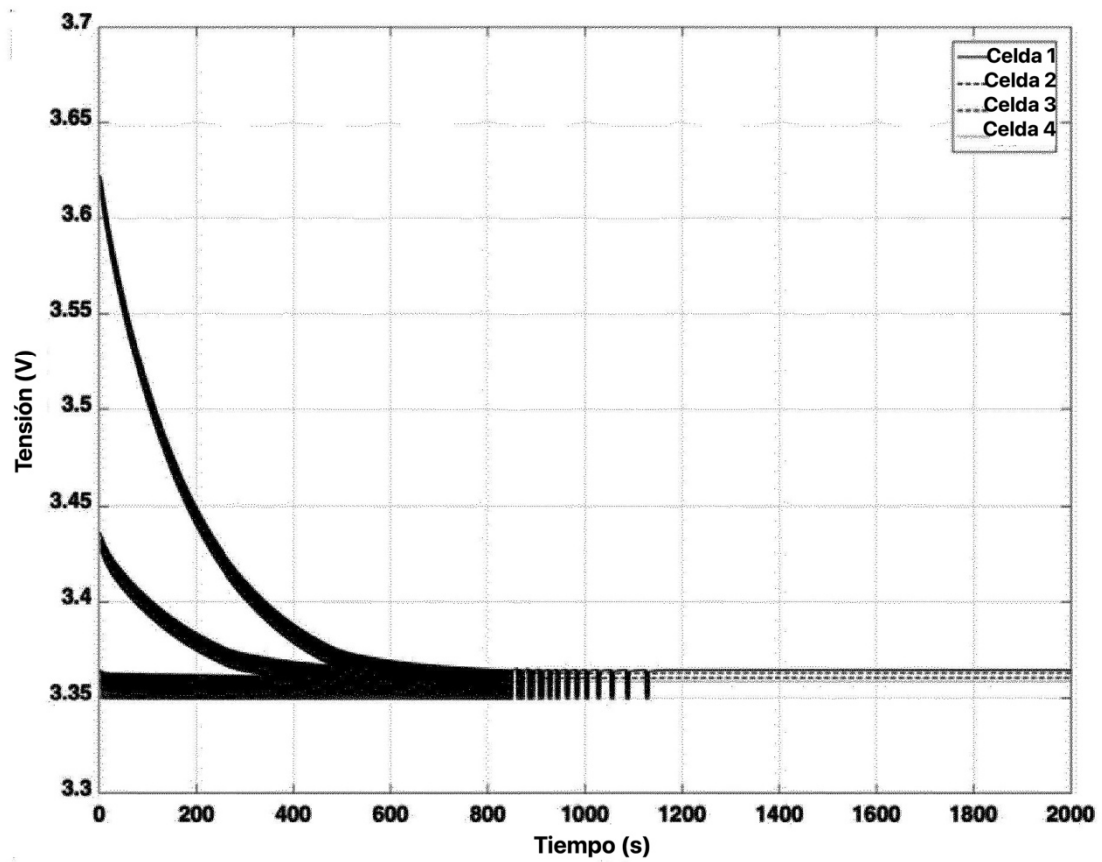


Fig. 7B

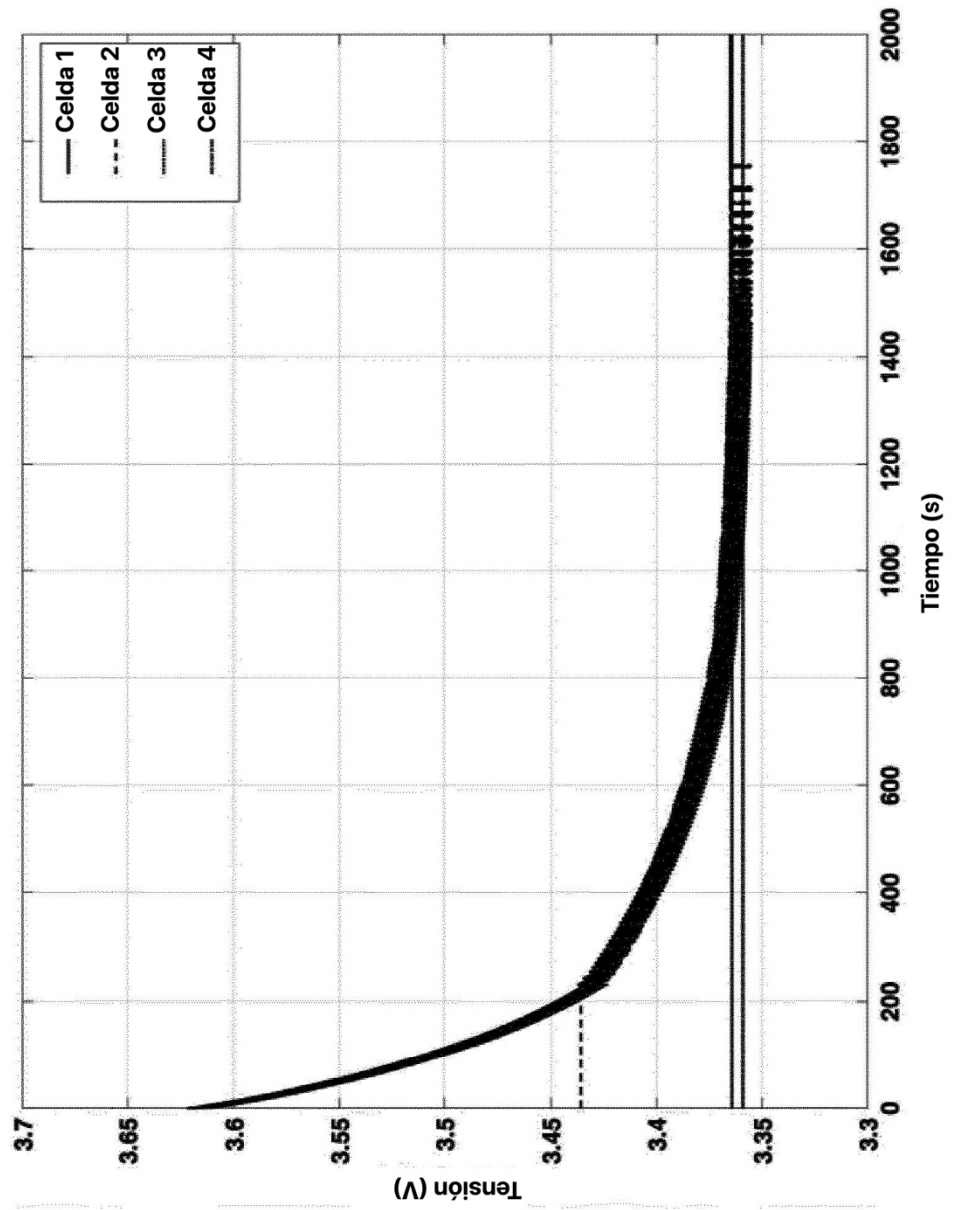


Fig. 8A

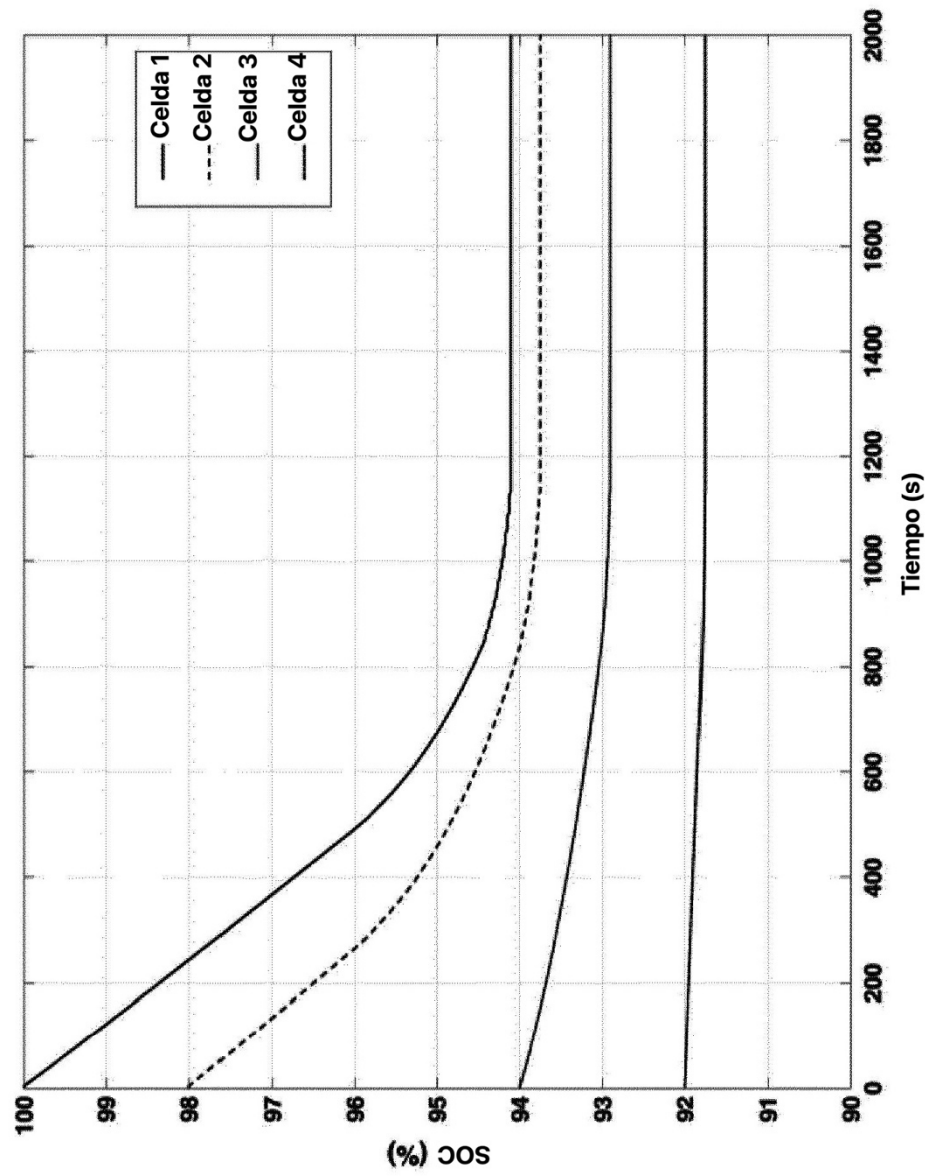


Fig. 8B

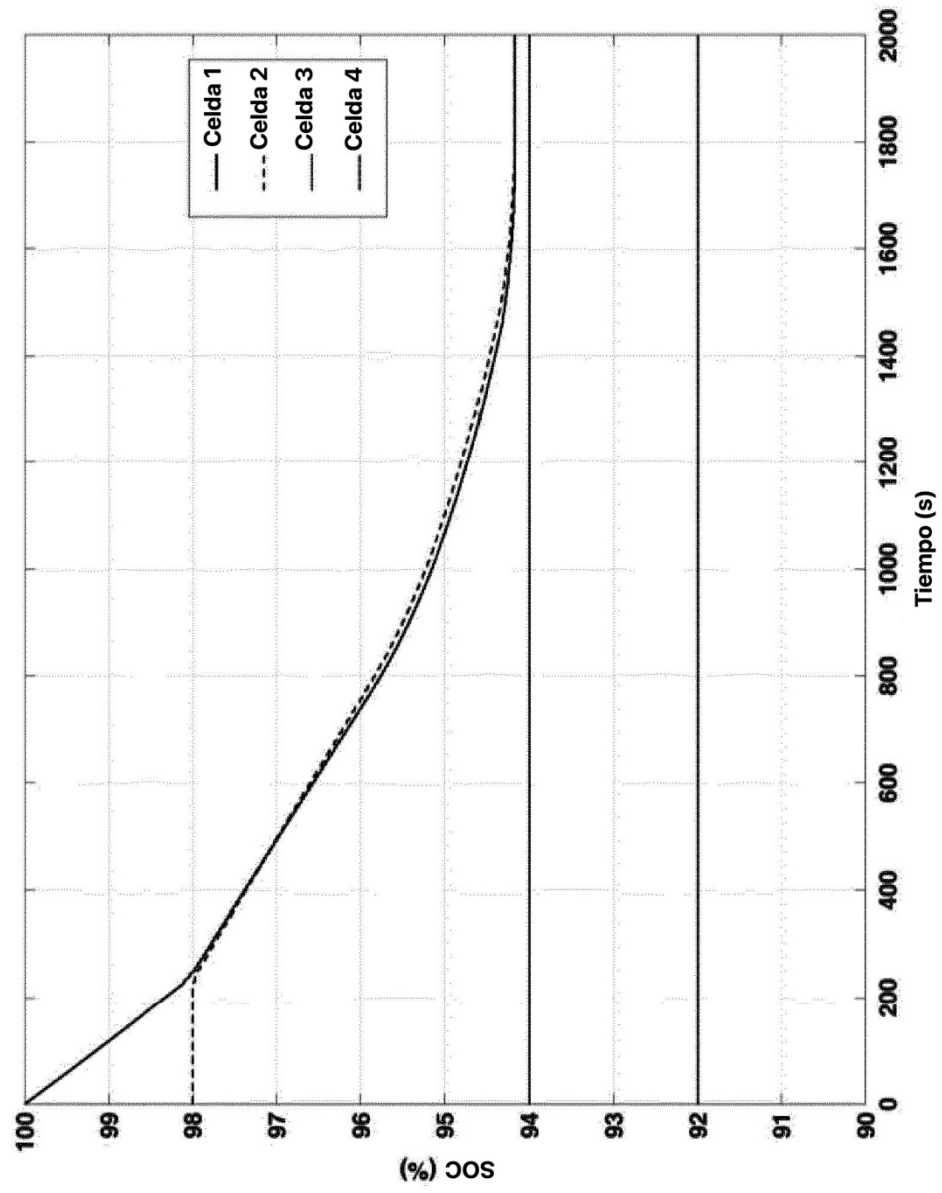
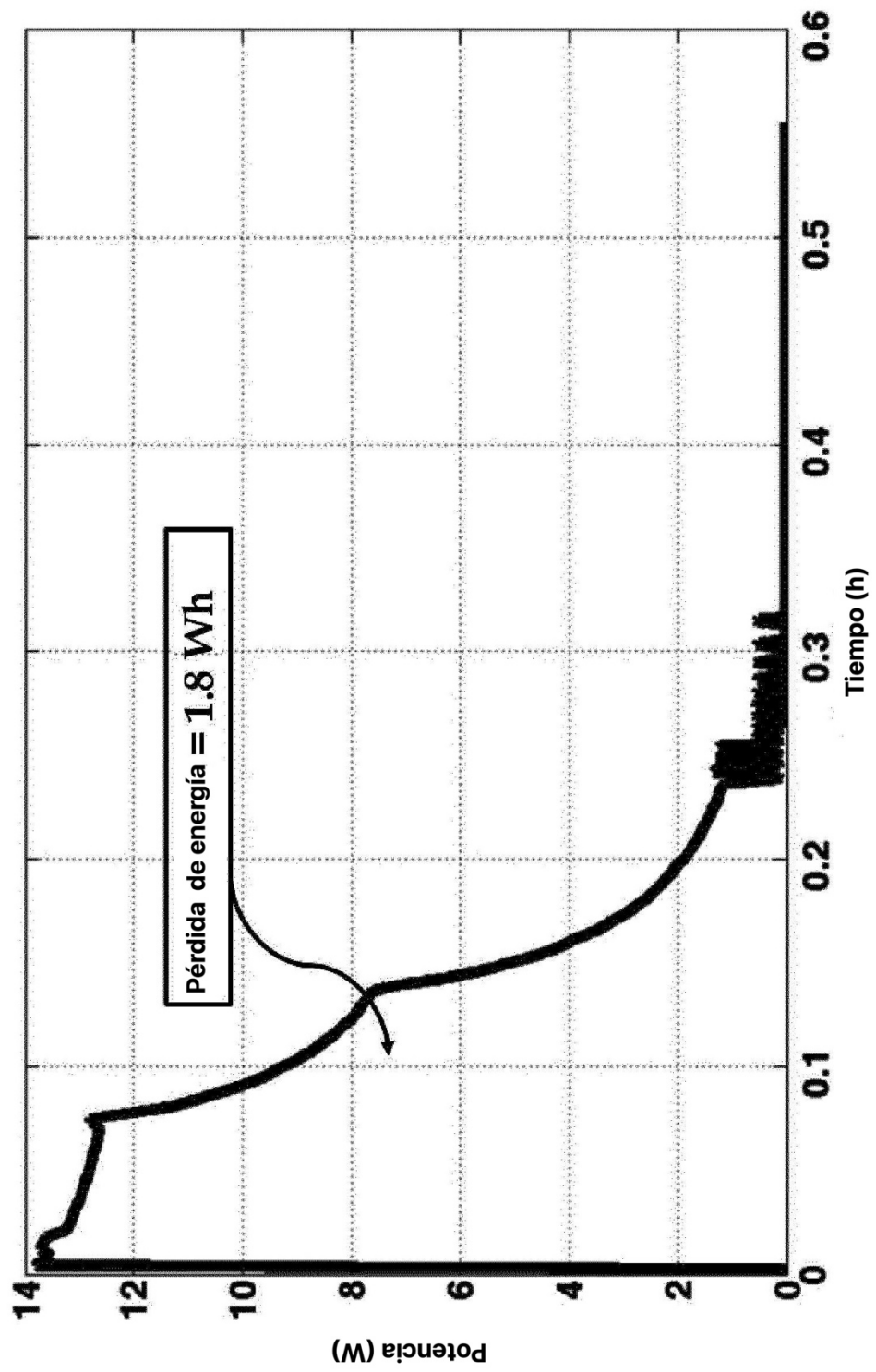


Fig. 9A



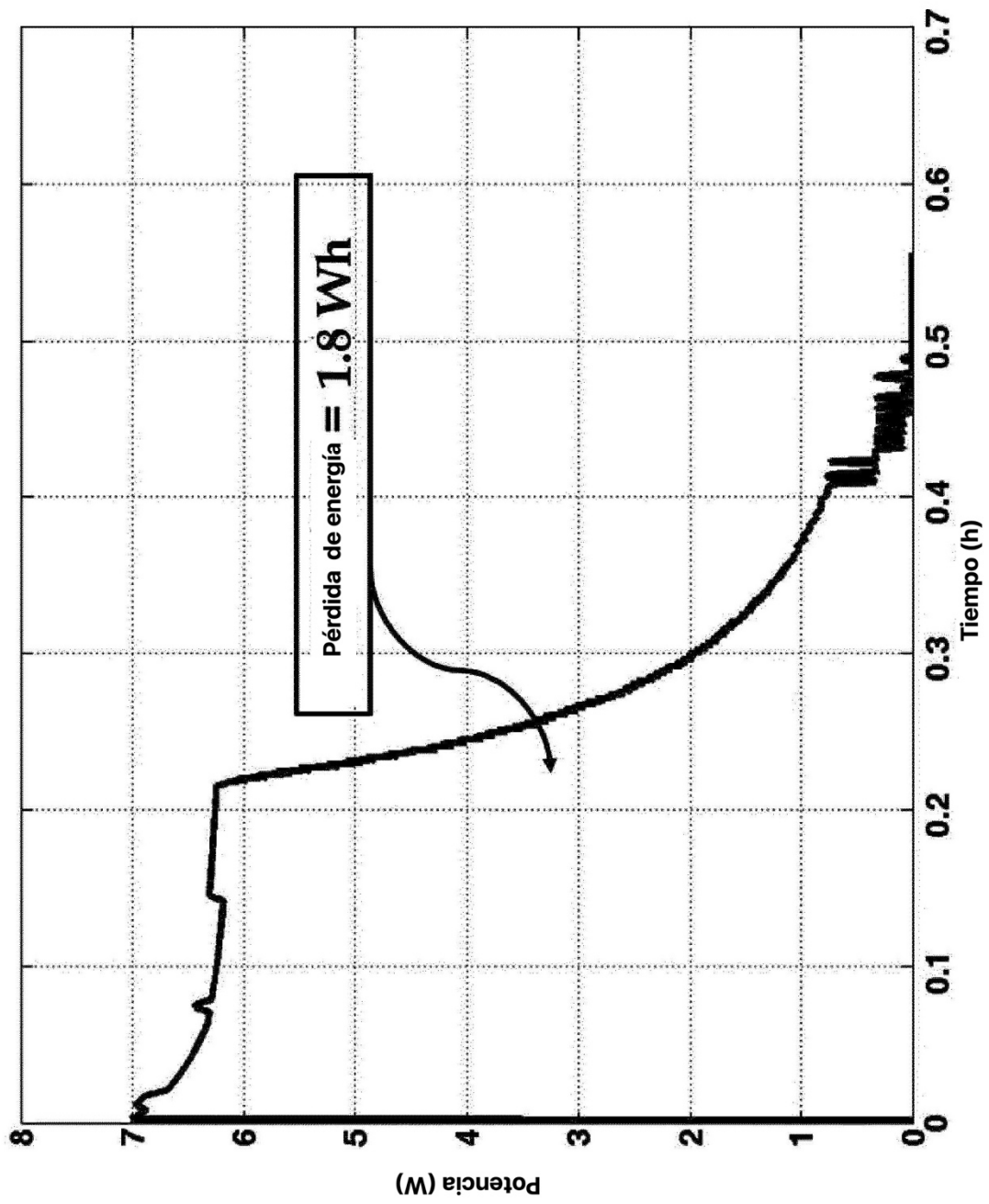


Fig. 9B

Fig. 10A

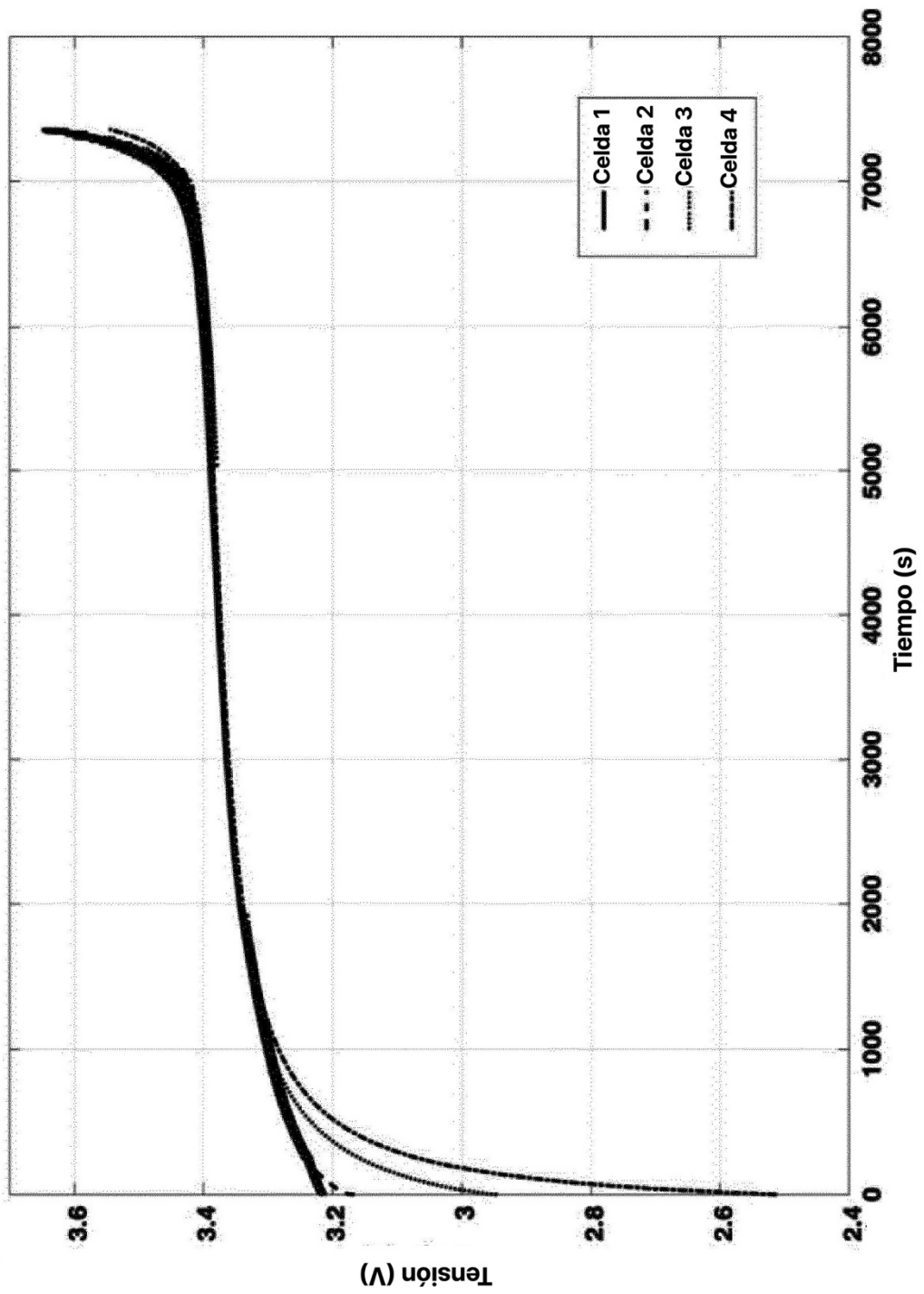
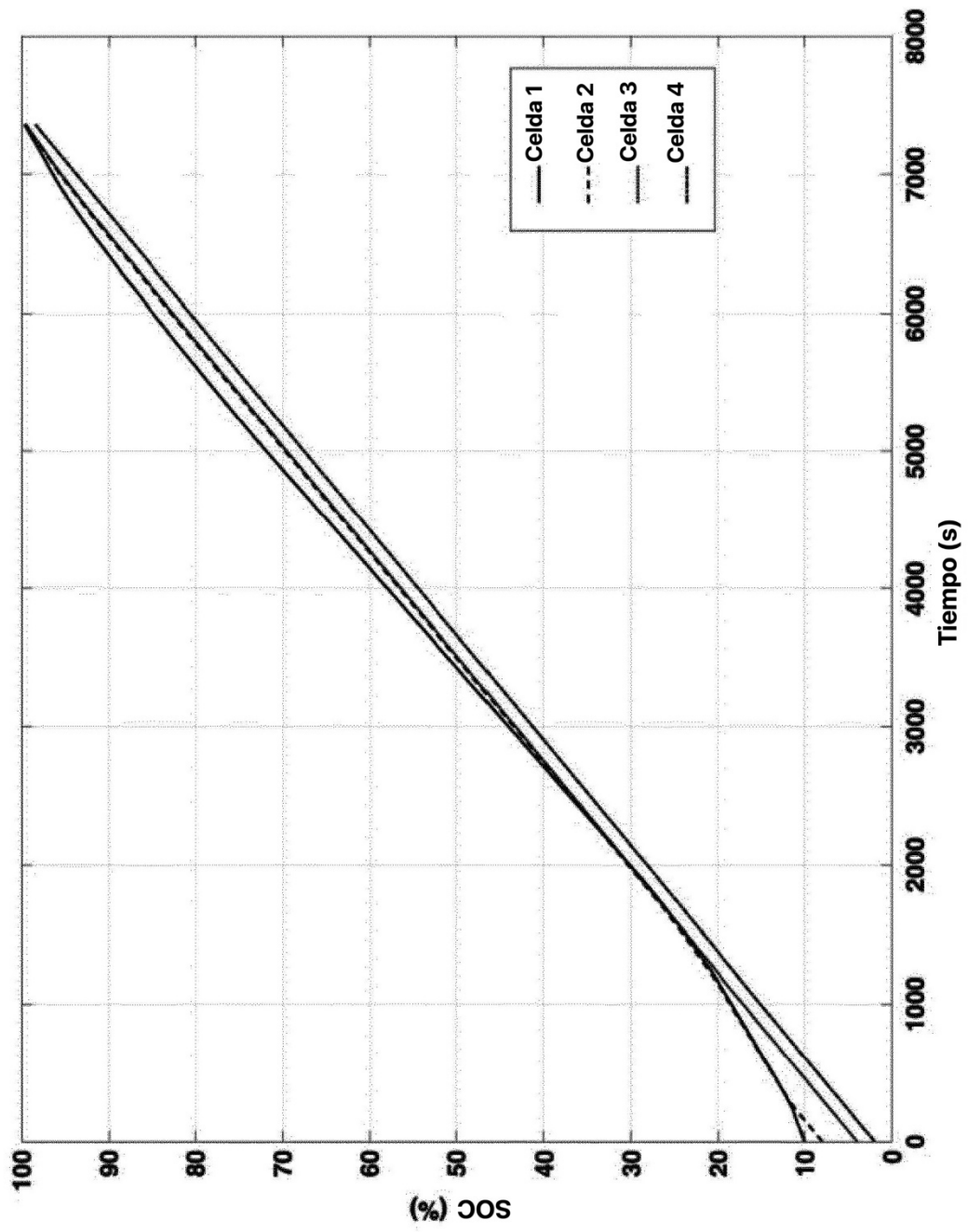


Fig. 10B



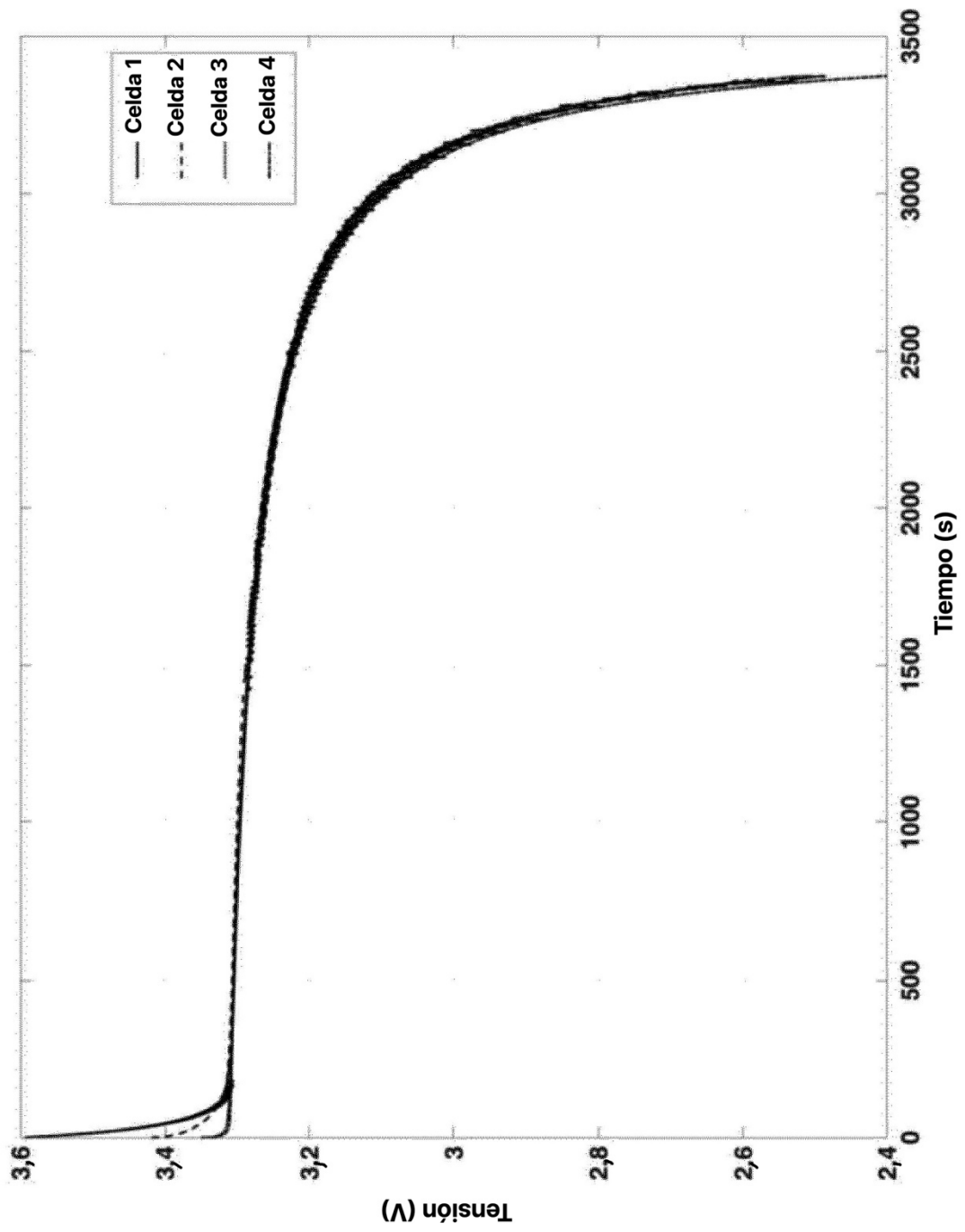


Fig. 11A

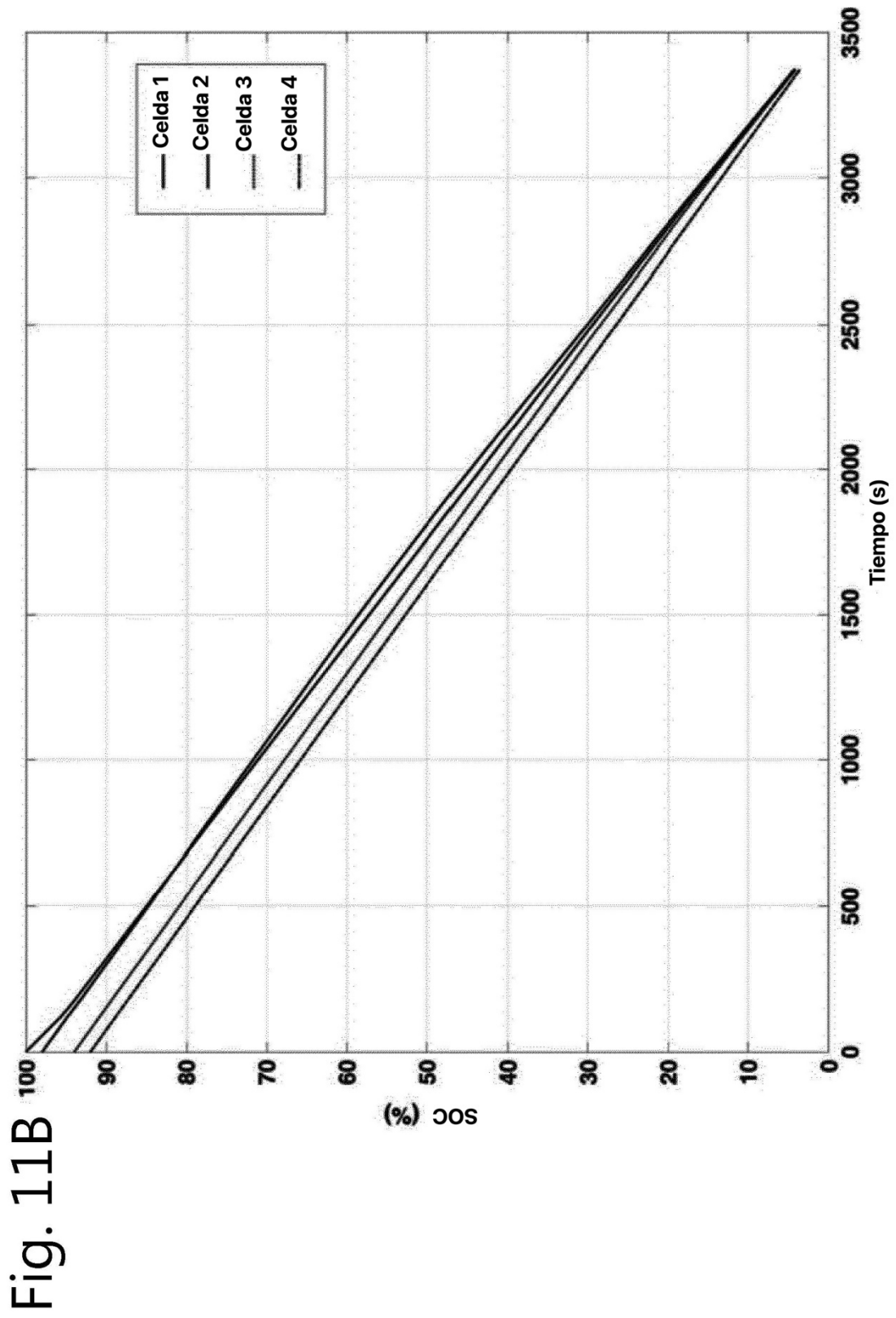


Fig. 12A

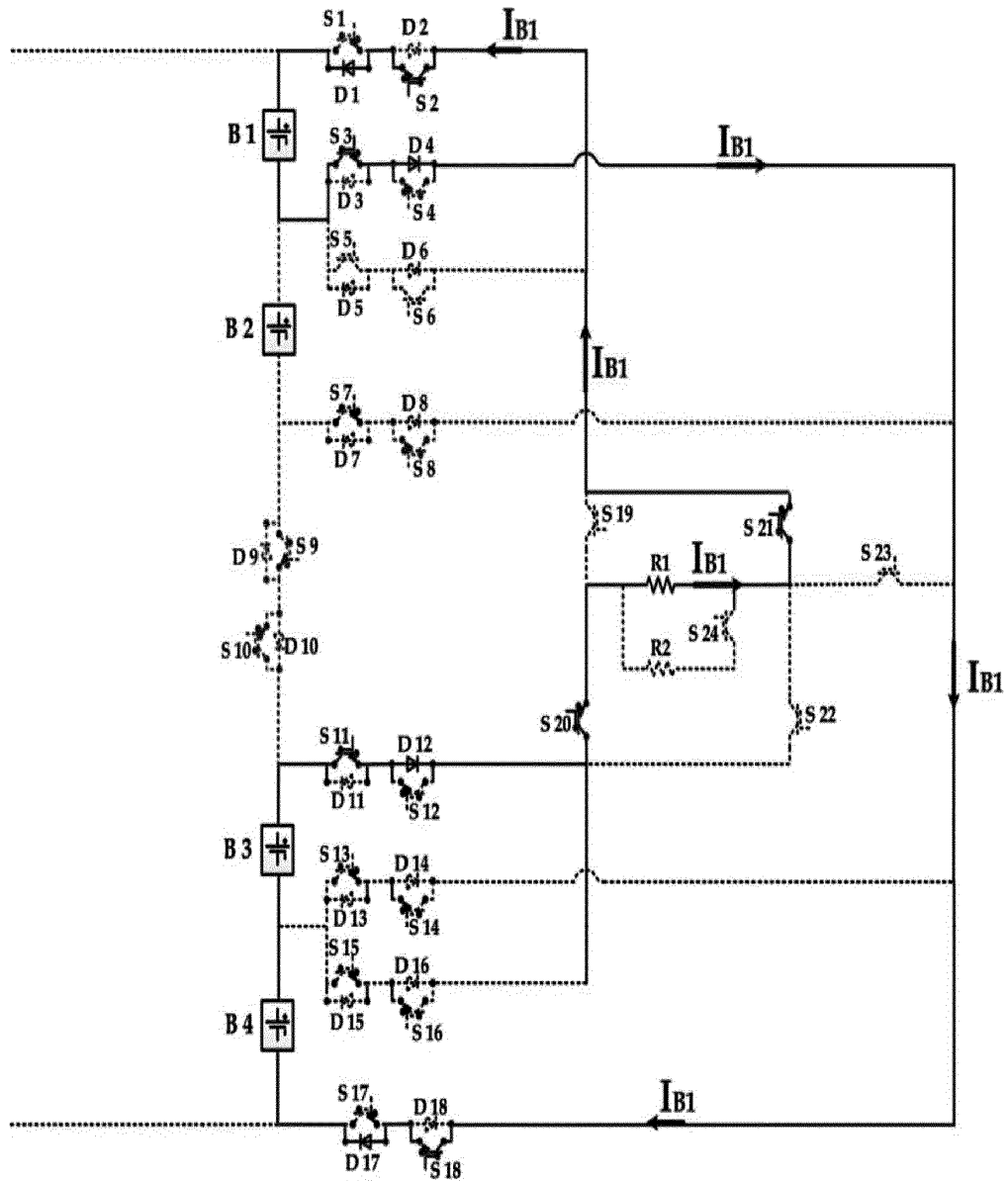


Fig. 12B

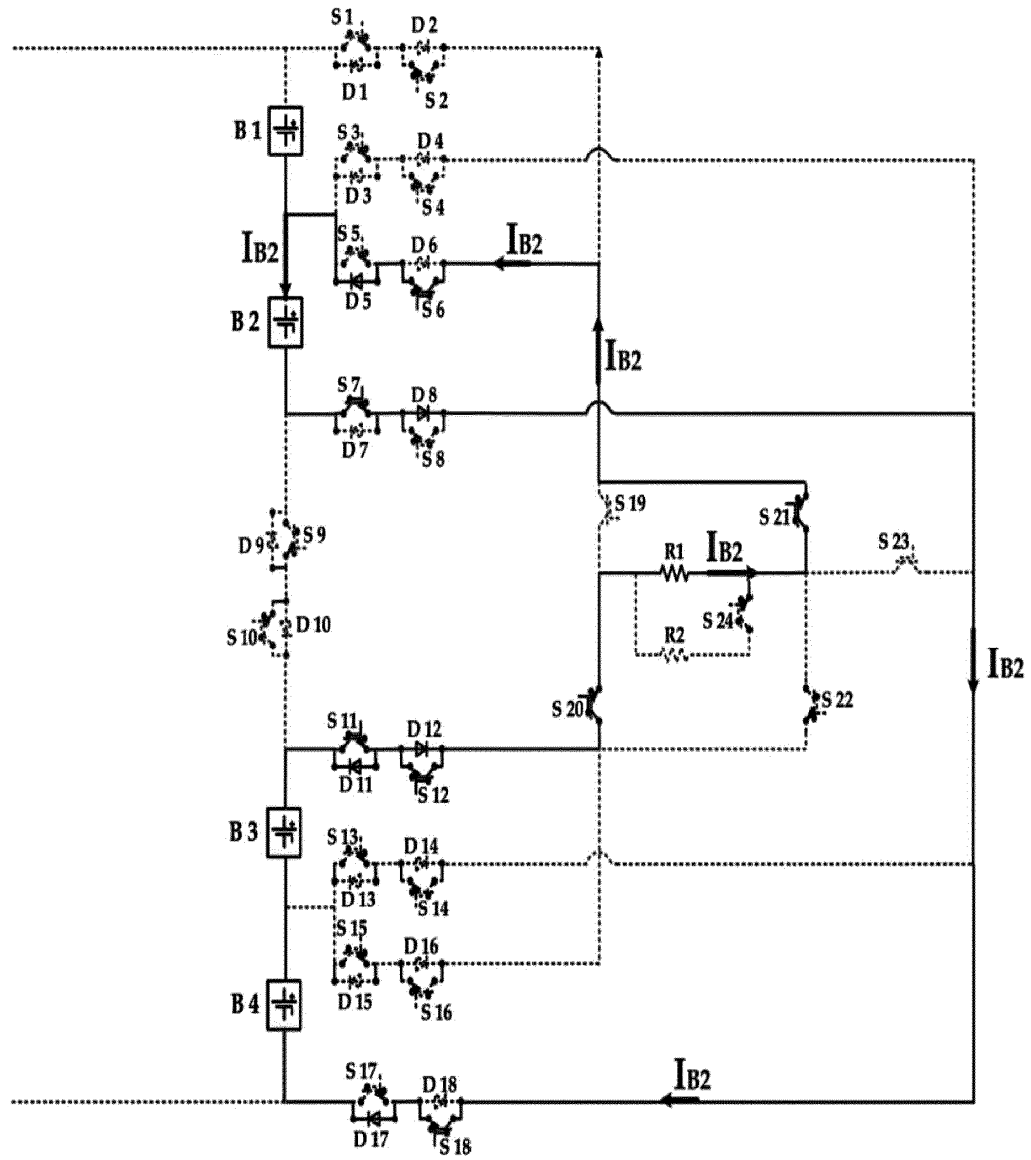


Fig. 12C

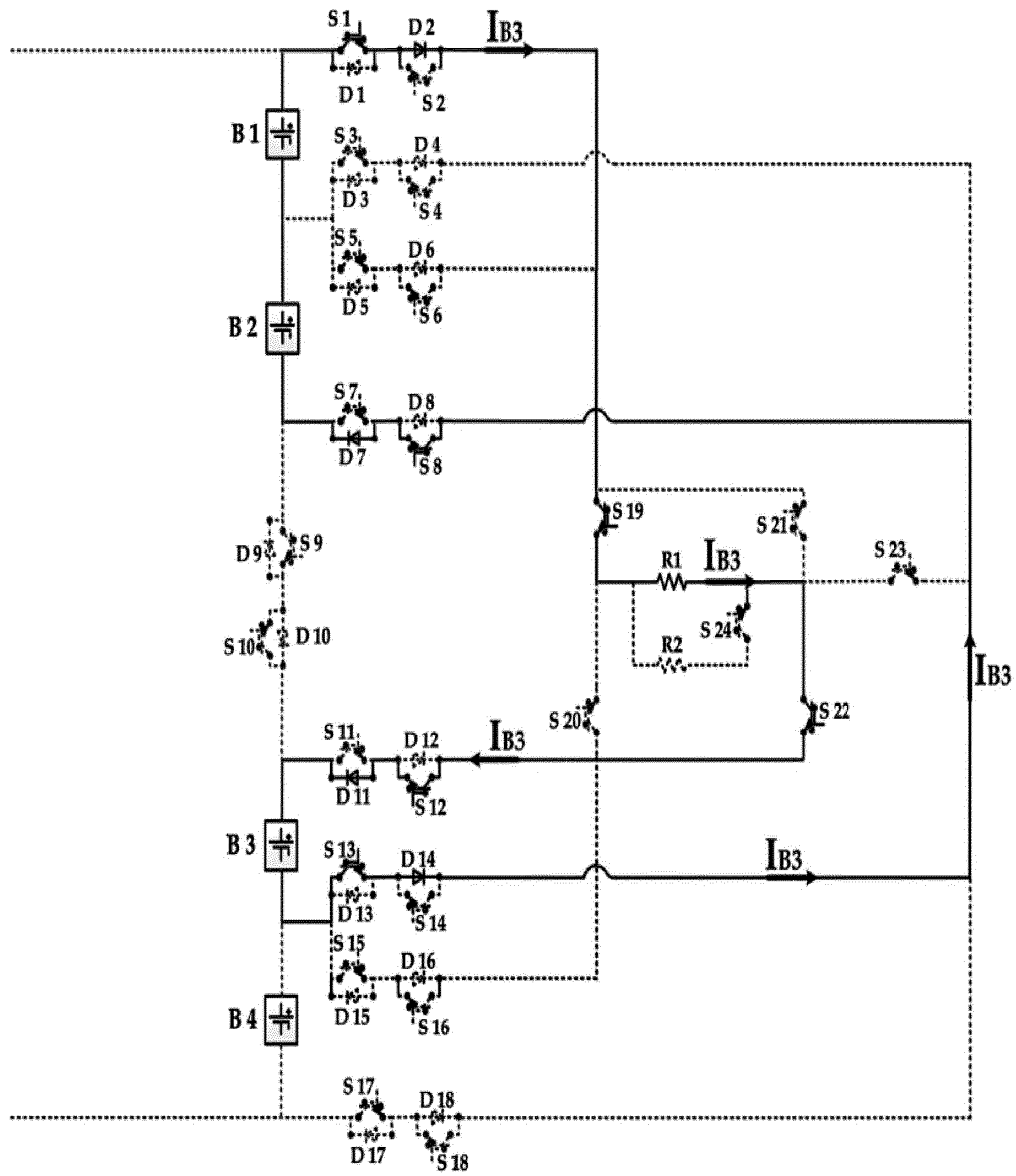


Fig. 12D

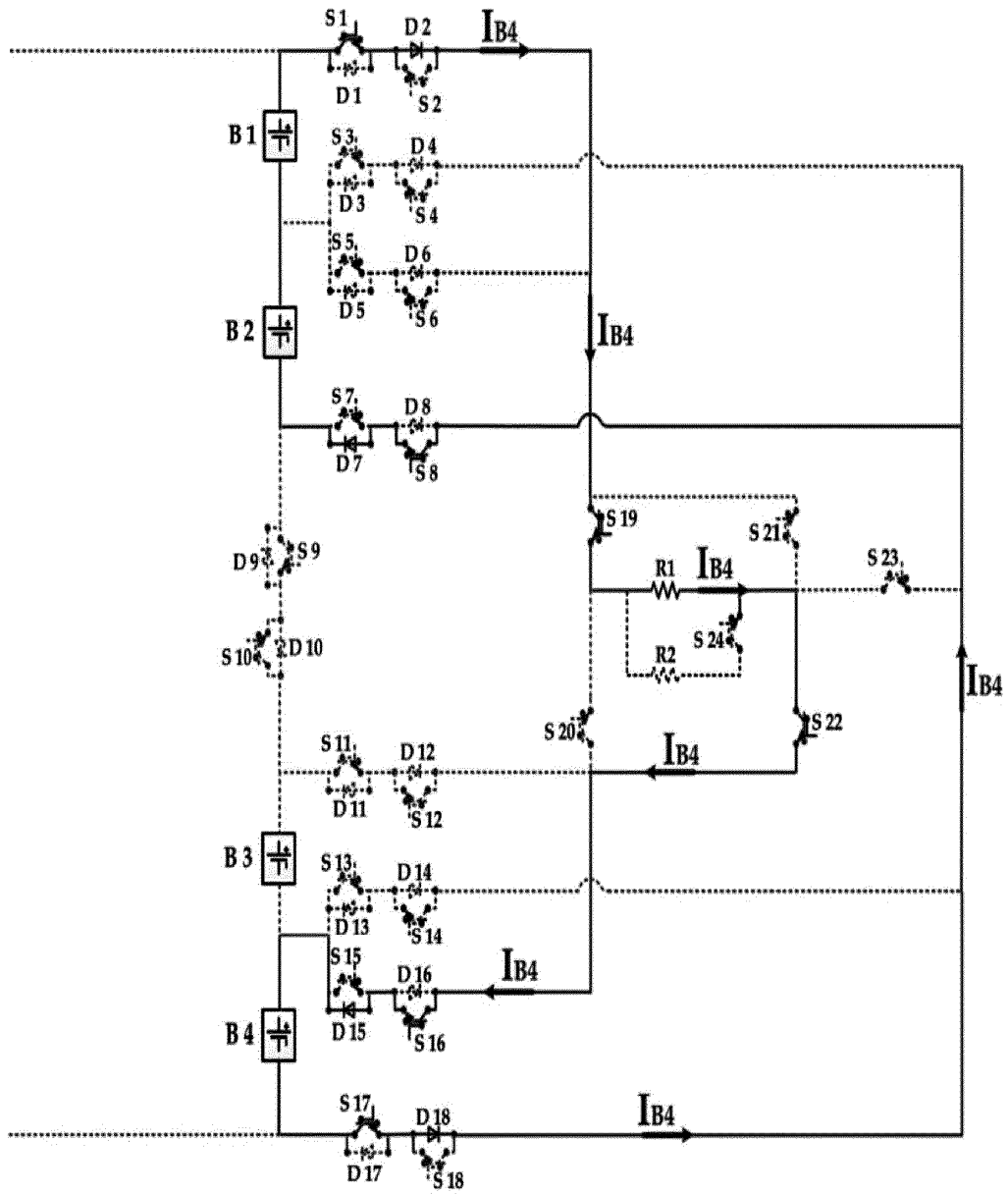


Fig. 13

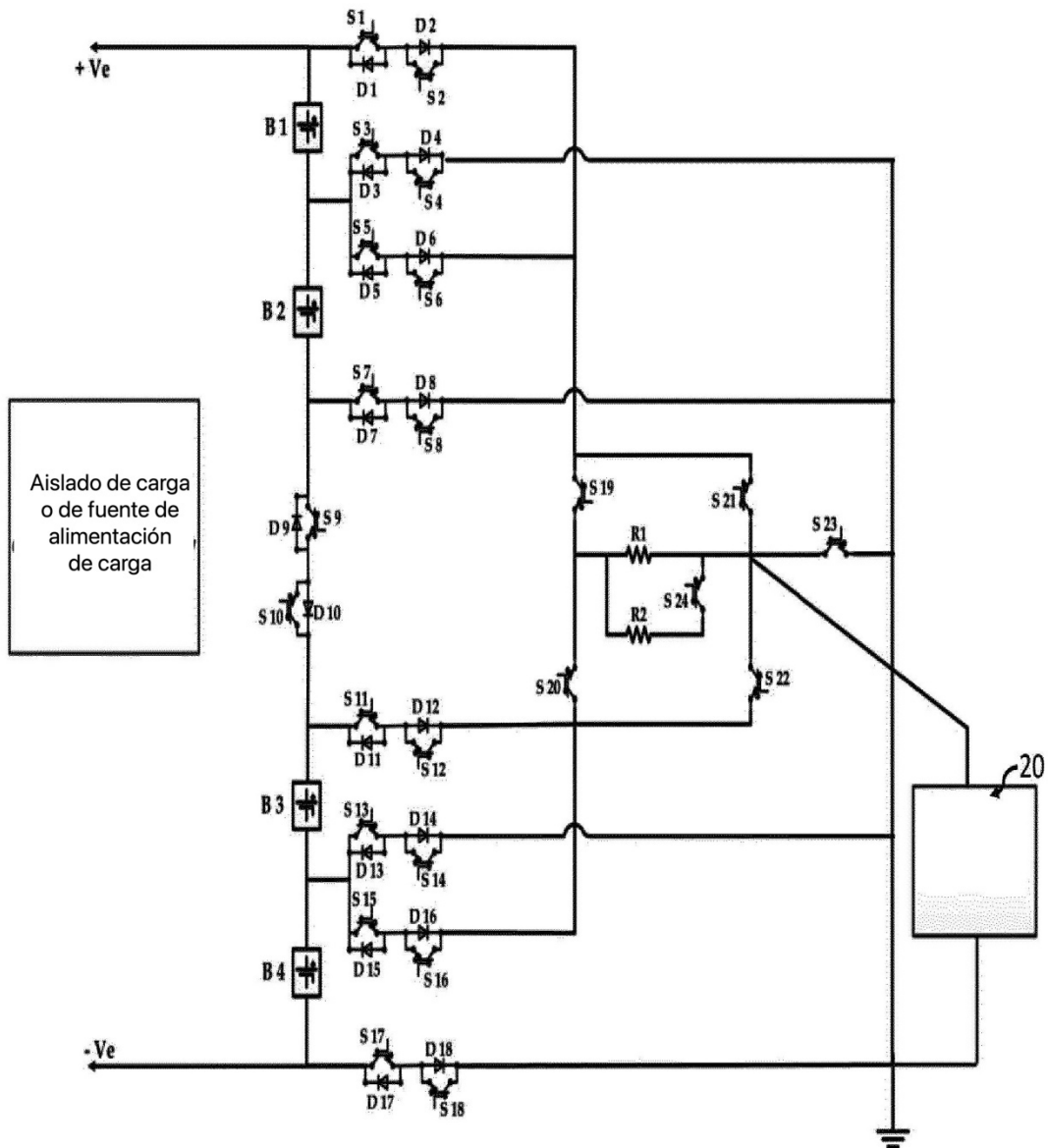
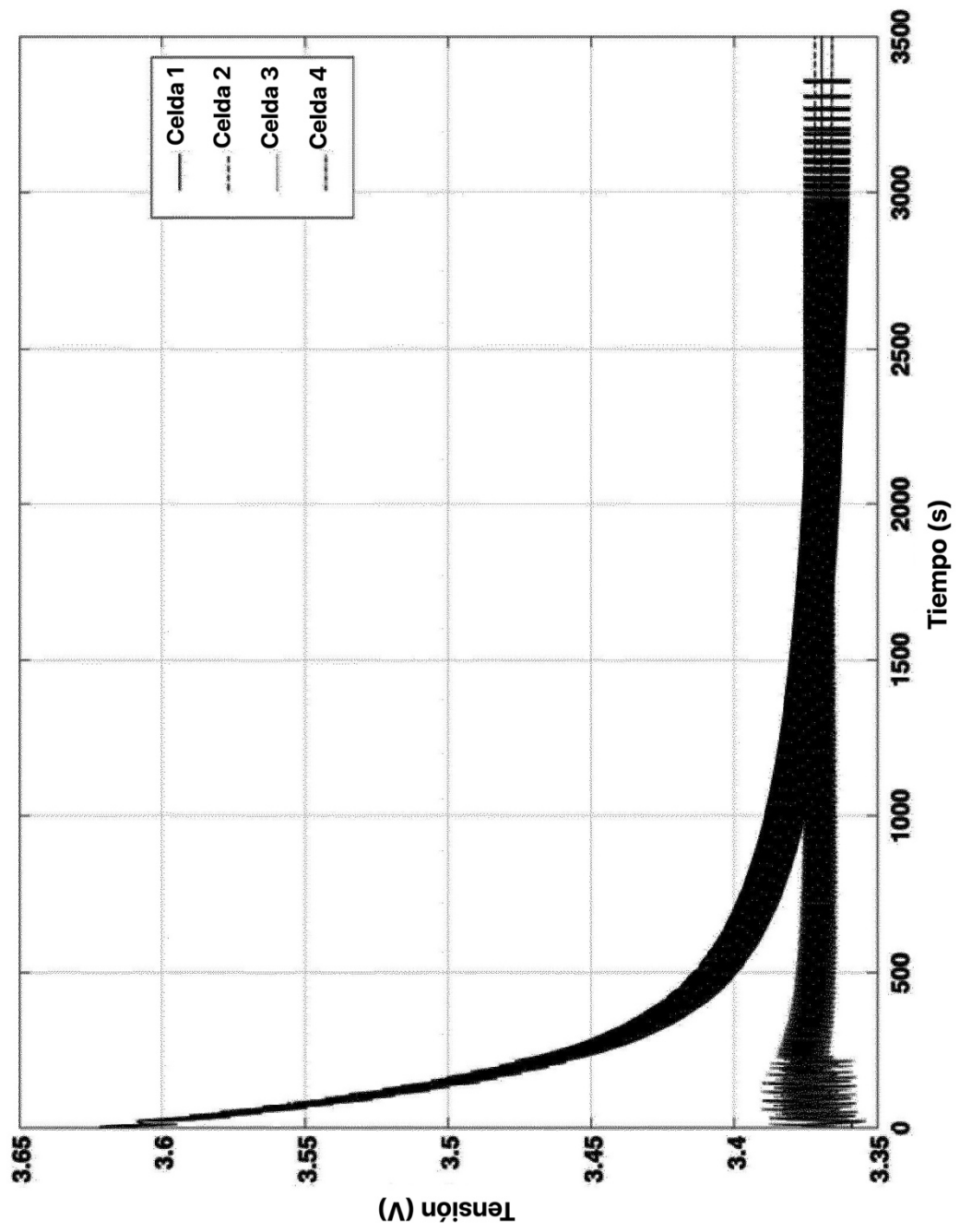


Fig. 14A



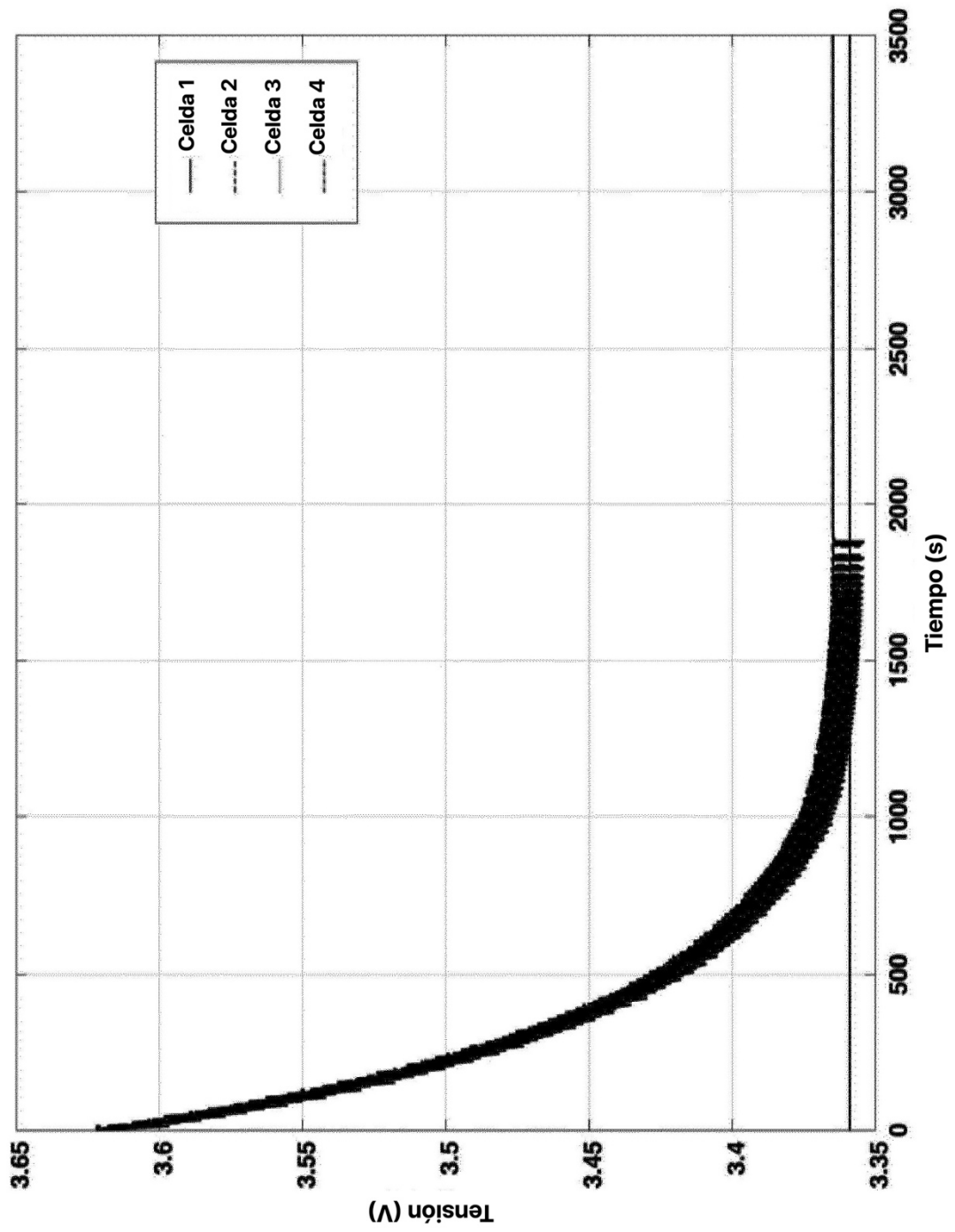


Fig. 14B

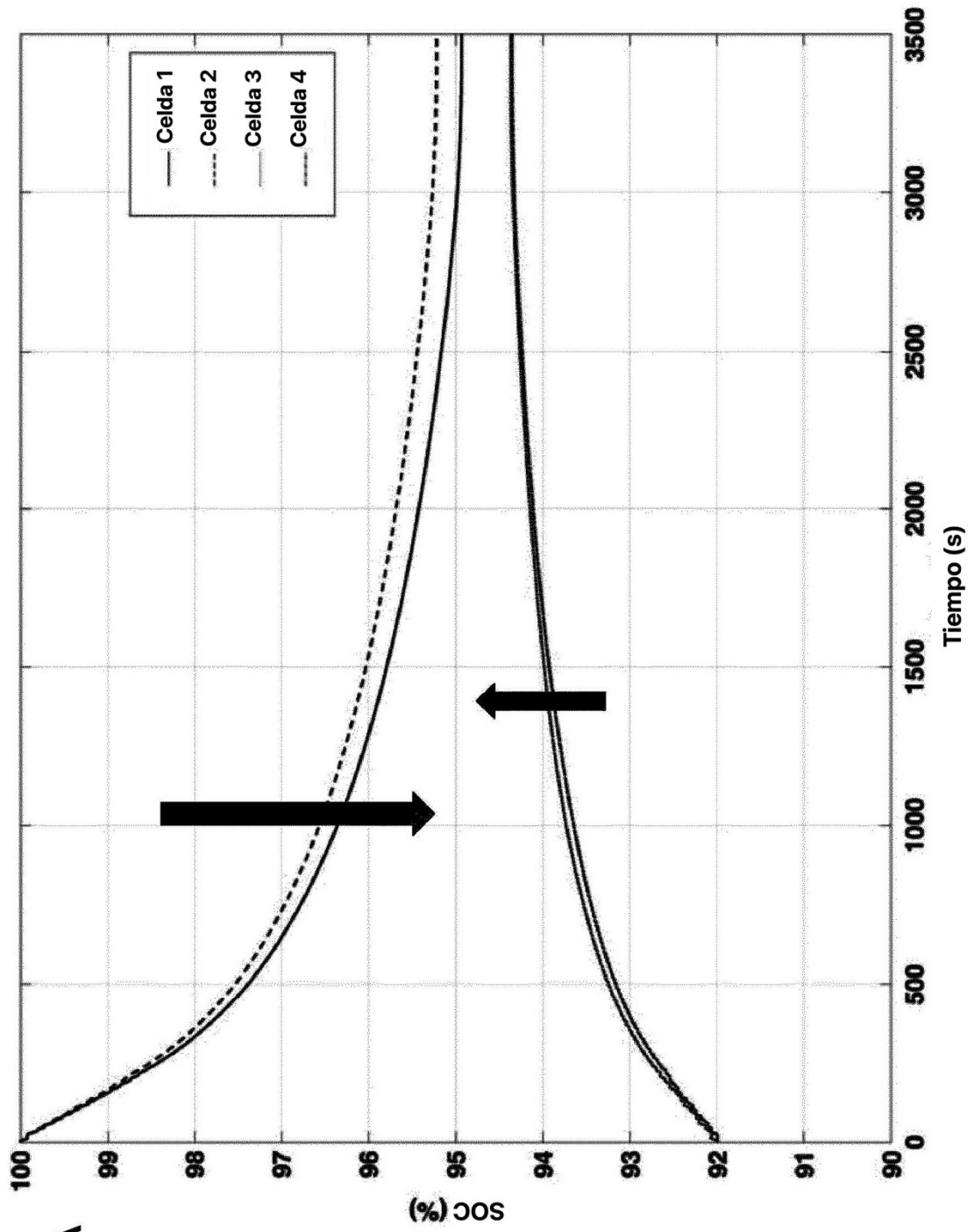


Fig. 15A

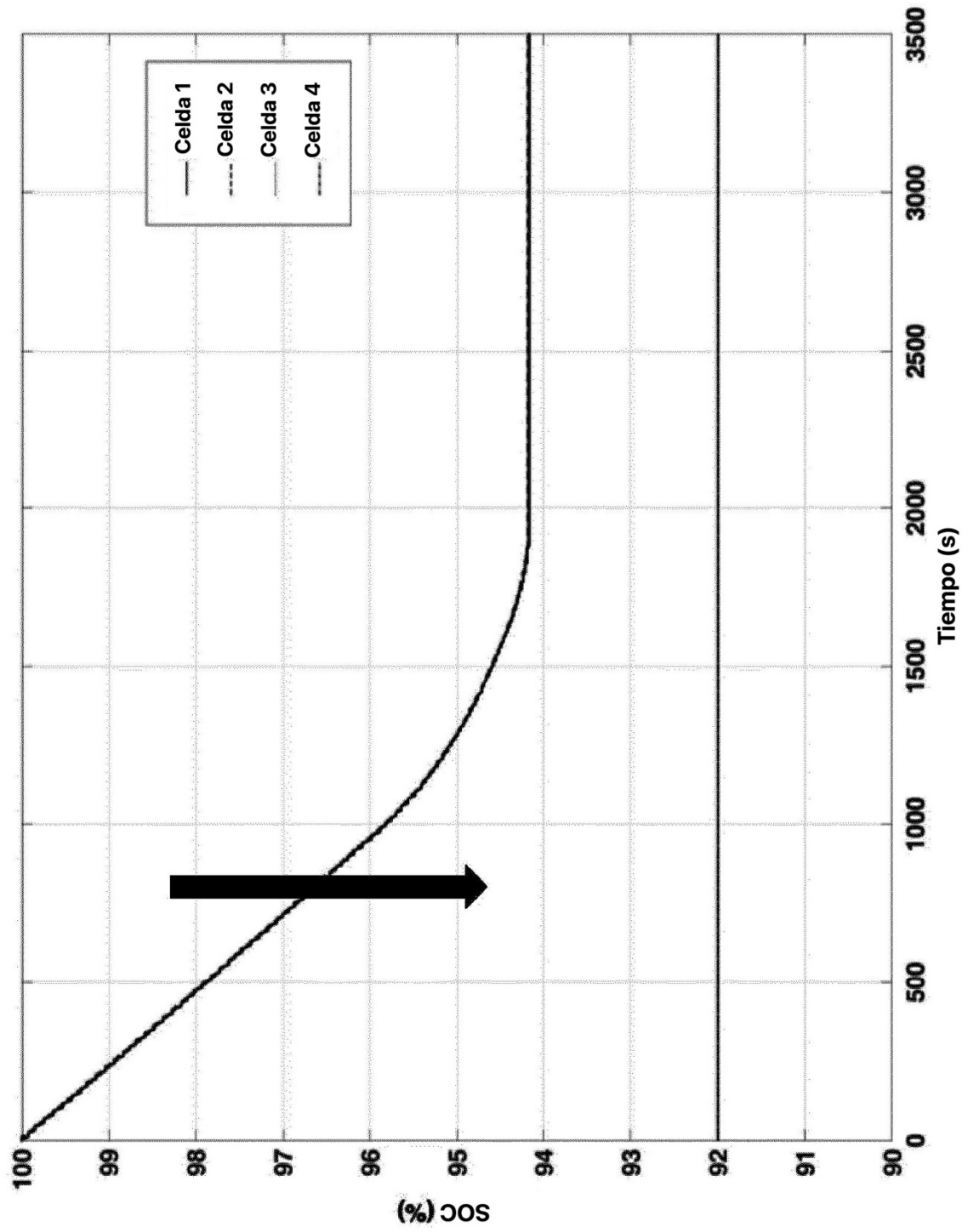


Fig. 15B

Fig. 16A

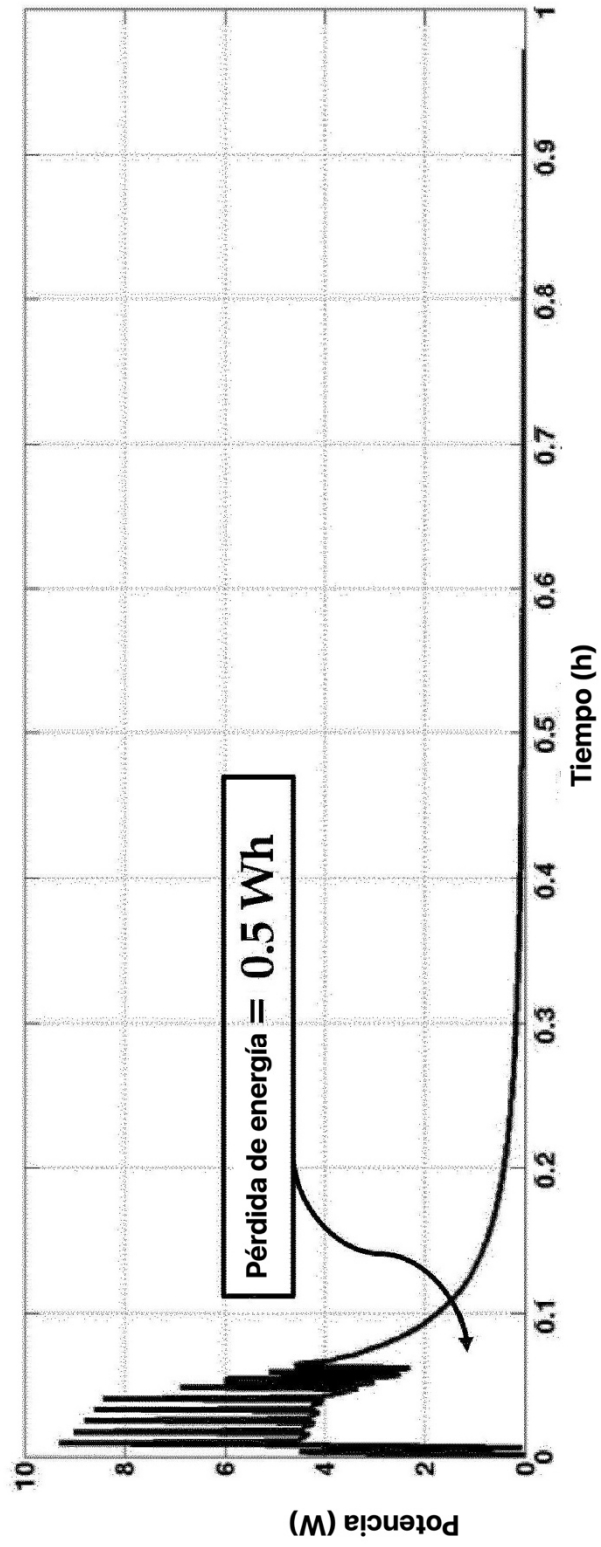


Fig. 16B

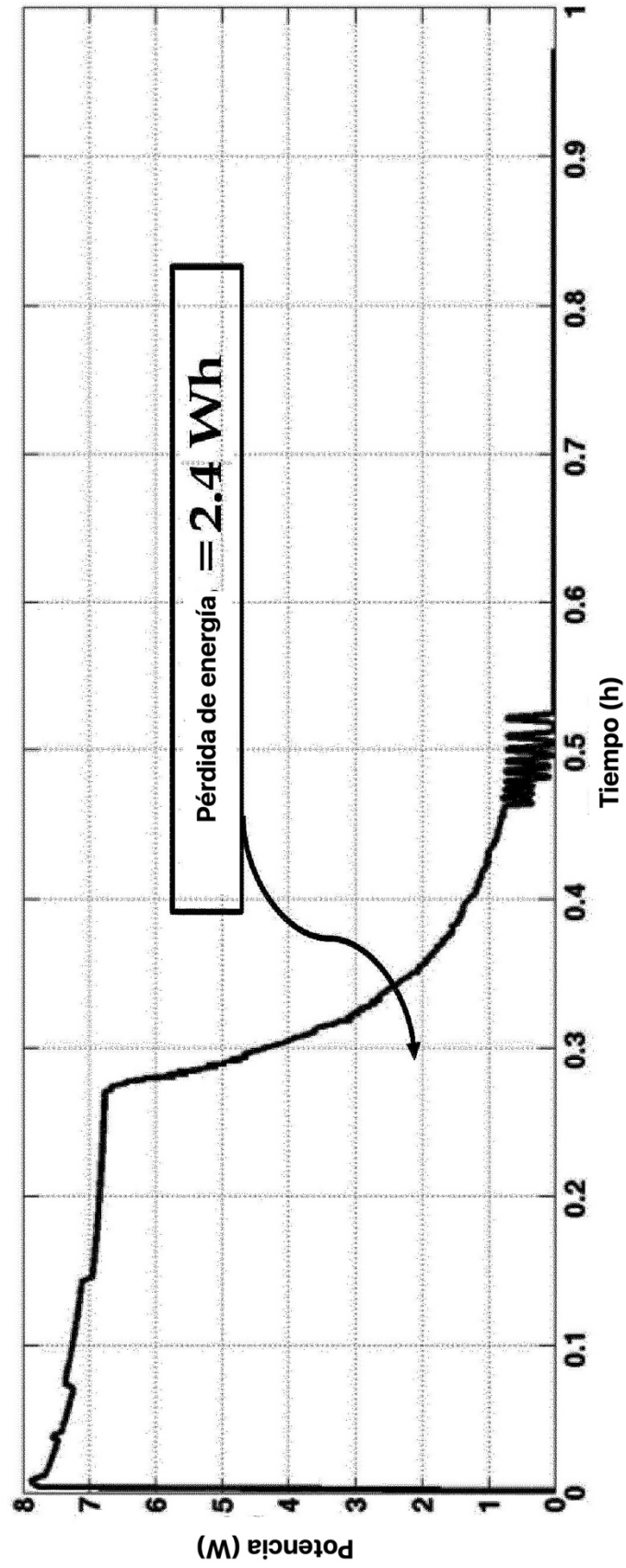


Fig. 17

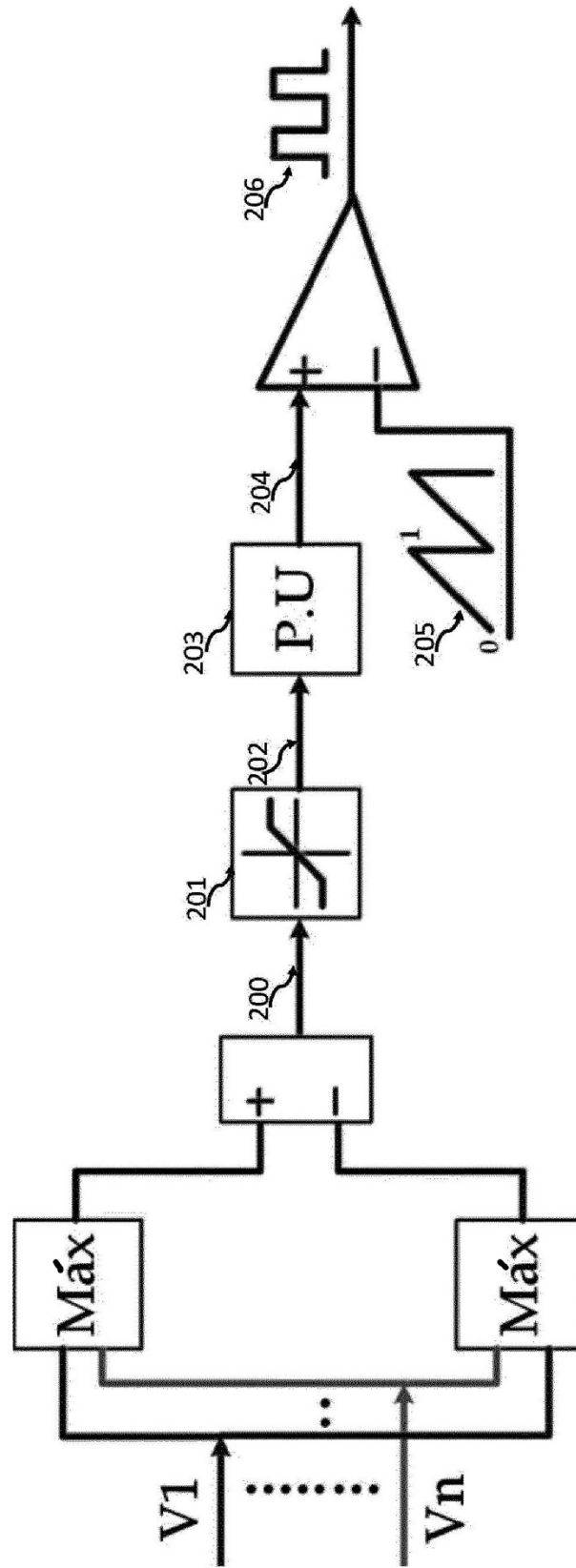


Fig. 18

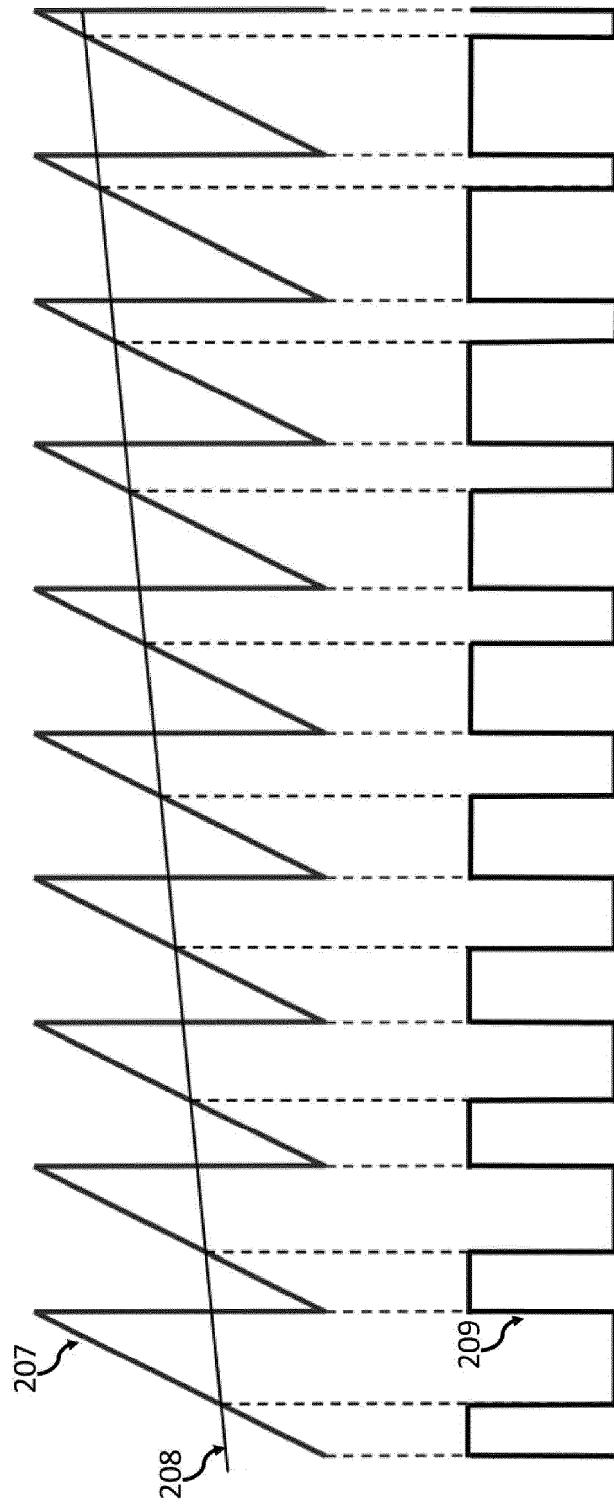


Fig. 19

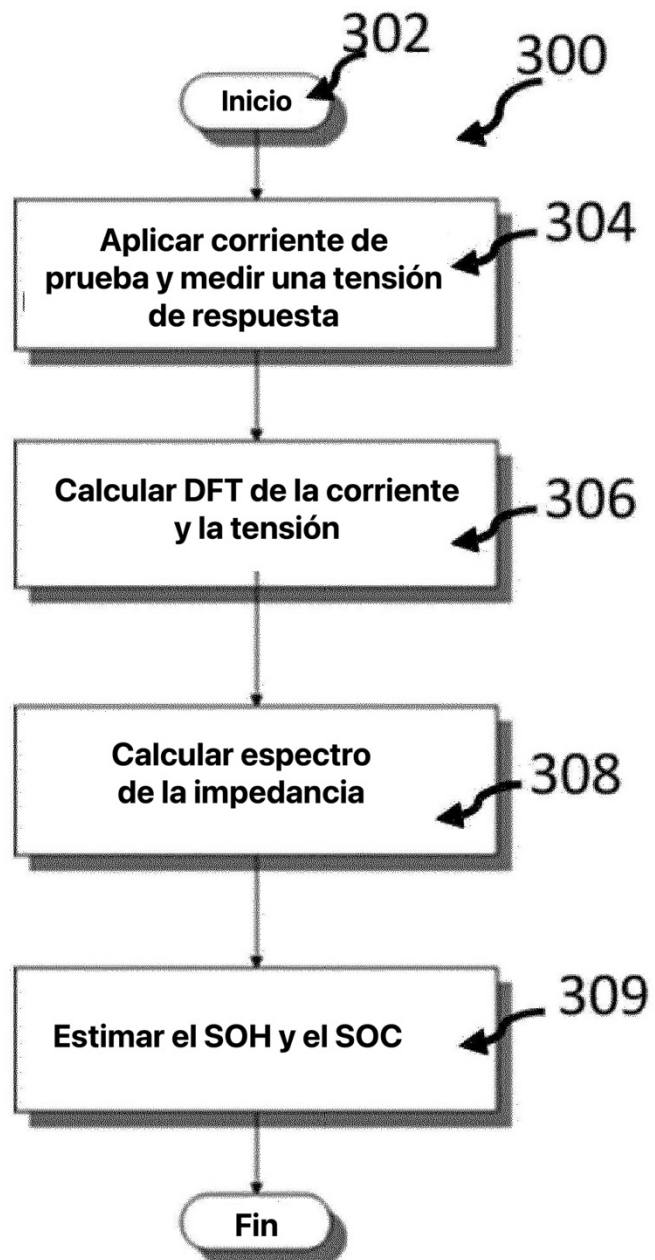


Fig. 20A

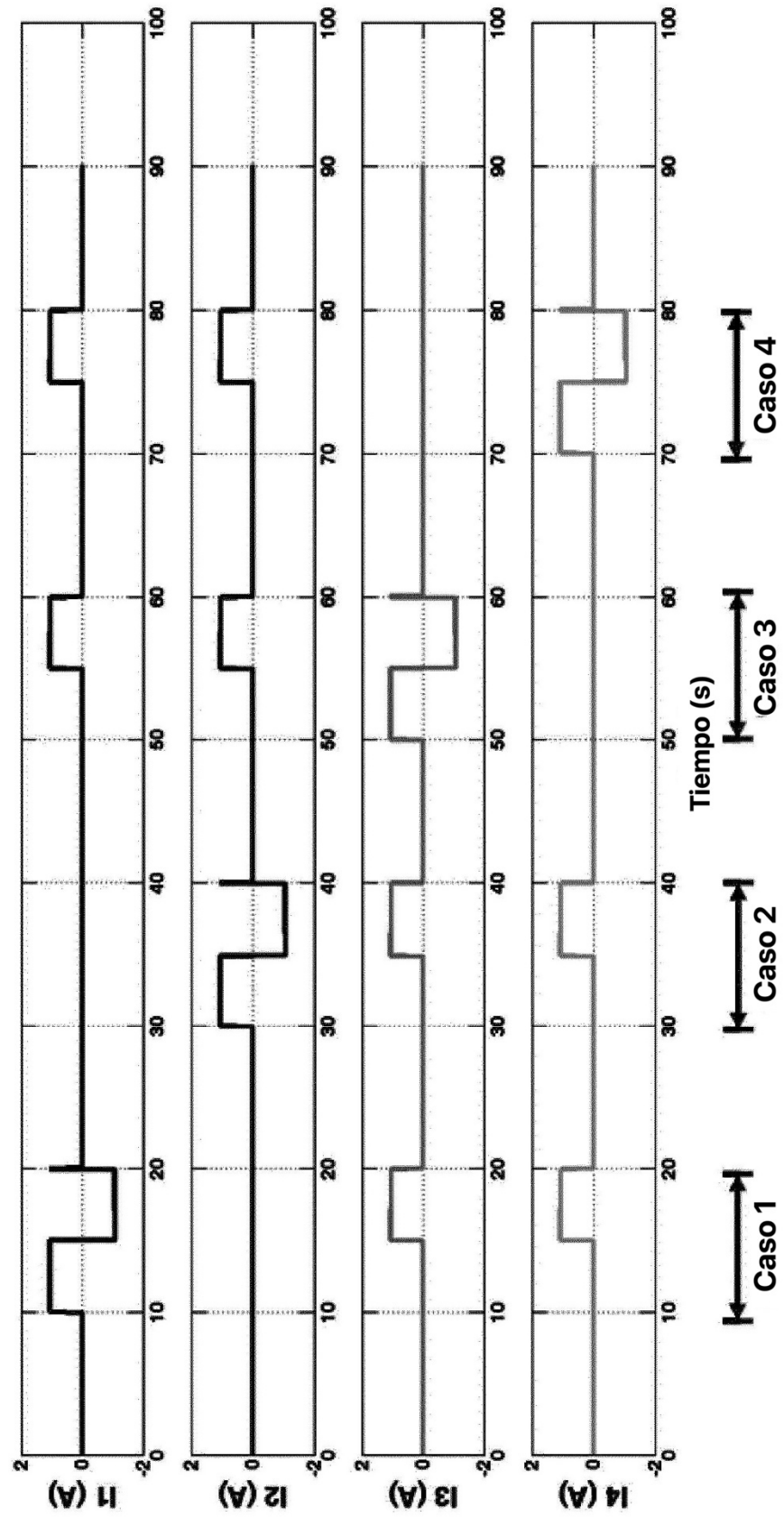


Fig. 20B

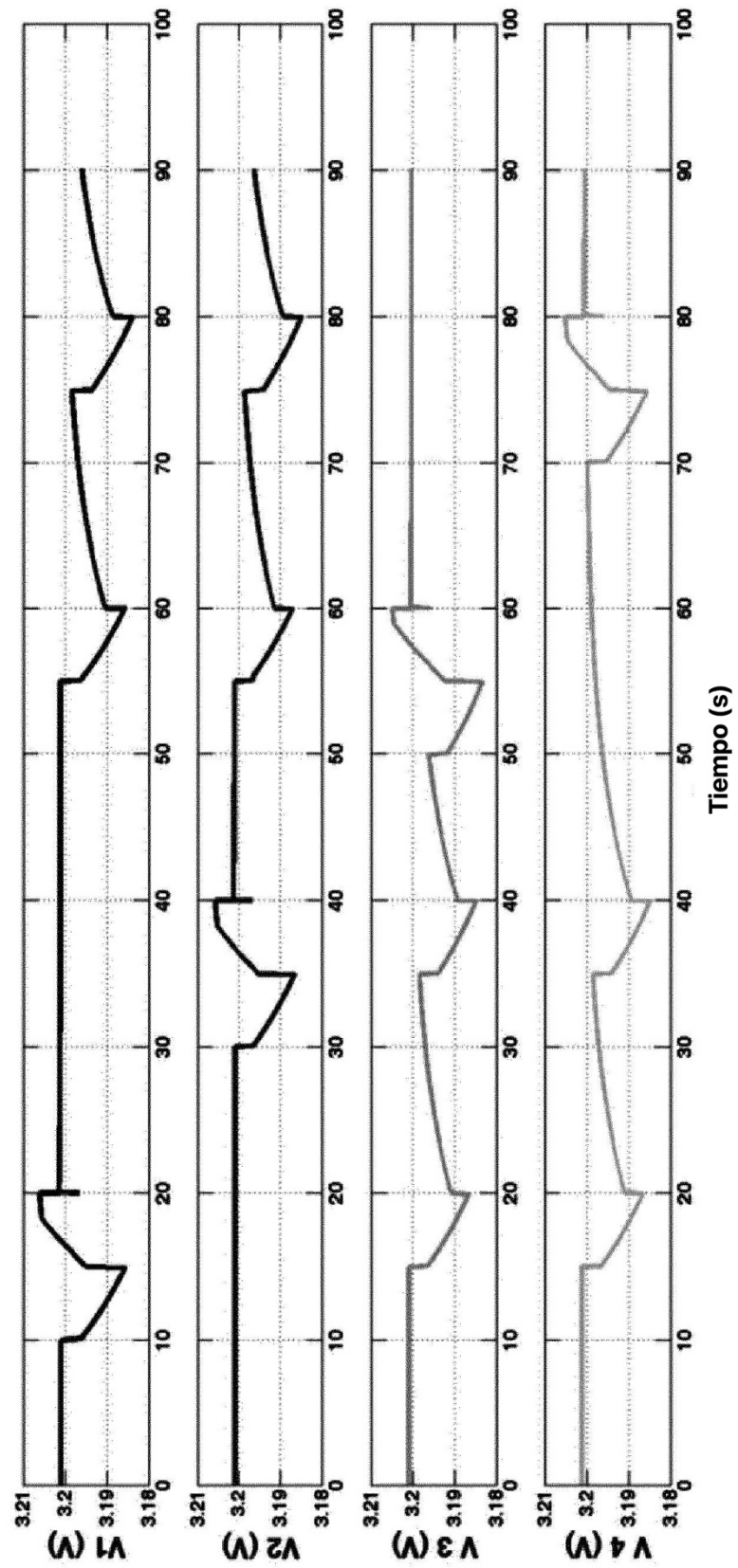


Fig. 21

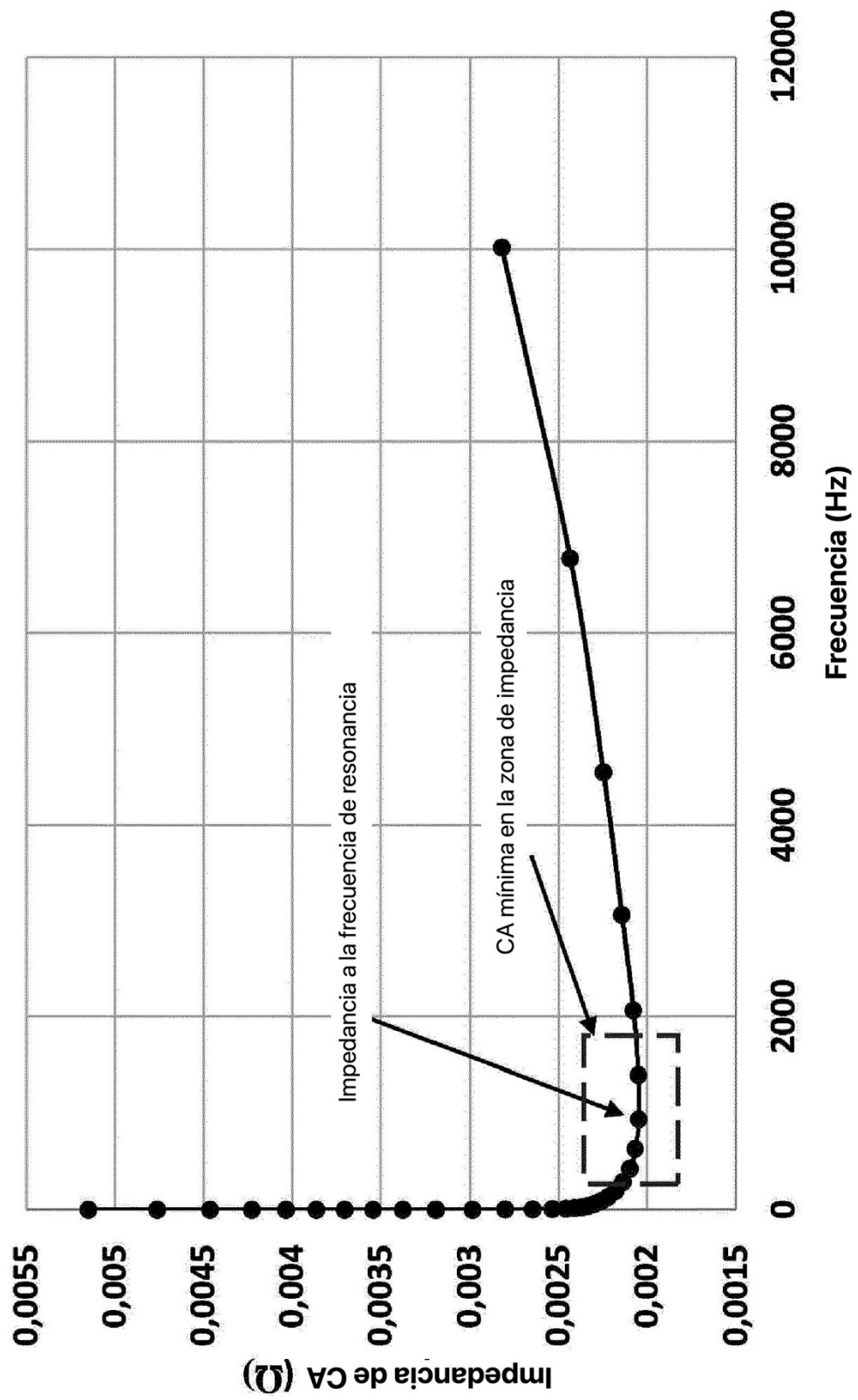


Fig. 22

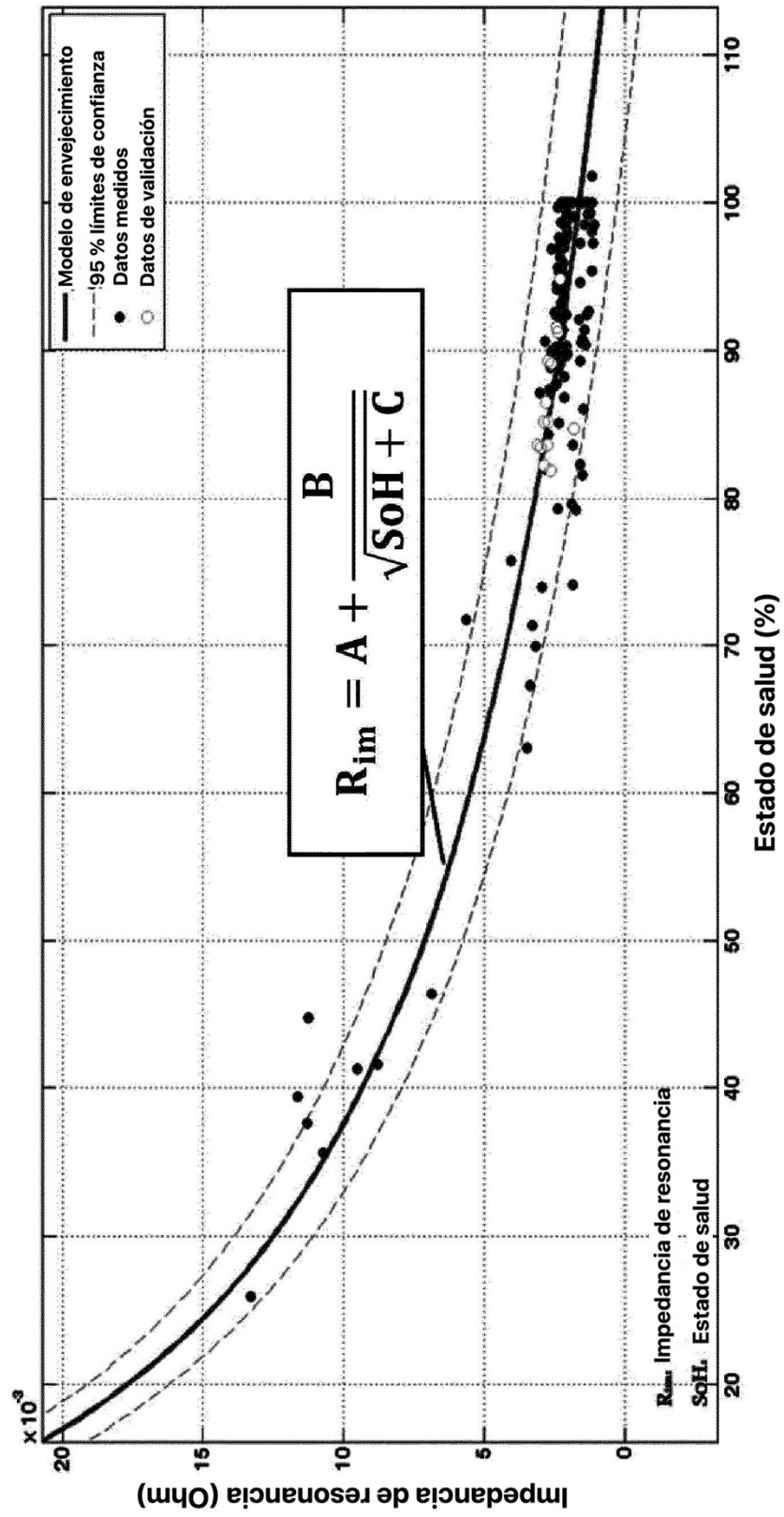


Fig. 23

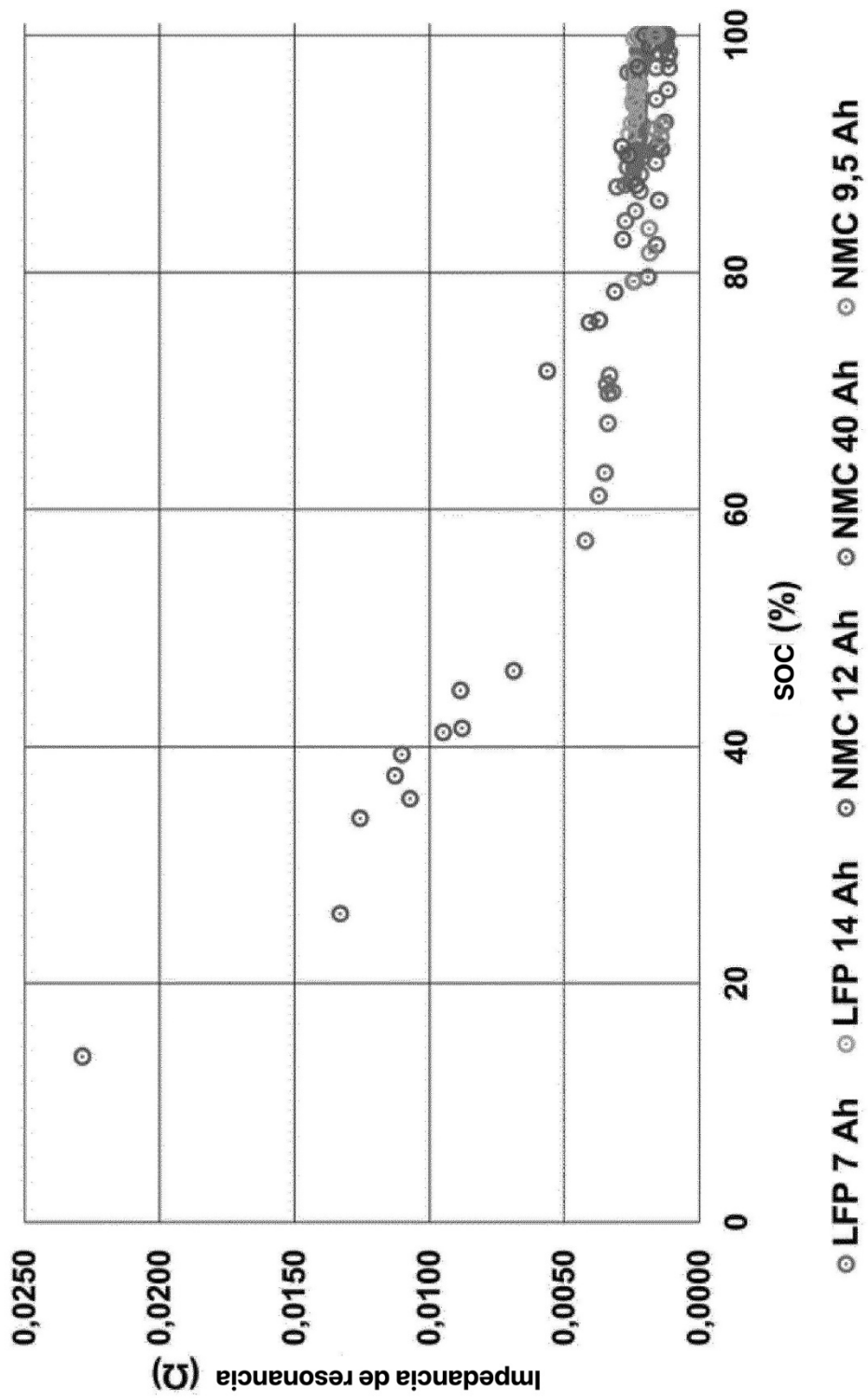


Fig. 24

