

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 779 030**

51 Int. Cl.:

**H01M 10/48** (2006.01)

**H01M 10/617** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.11.2009 PCT/CN2009/074928**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.01.2011 WO11003251**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2009 E 09847002 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 2452391**

54 Título: **Sistema de baterías en serie-paralelo con resistor de amortiguación**

30 Prioridad:

**06.07.2009 US 459654**

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

**13.08.2020**

73 Titular/es:

**AMPEREX TECHNOLOGY LIMITED (100.0%)  
3503 Wharf Cable TV Tower 9 Hoi Shing Road  
Tsuen Wan N.T.  
Hong Kong, CN**

72 Inventor/es:

**ZHU, LI-YAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 779 030 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**

Sistema de baterías en serie-paralelo con resistor de amortiguación

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a baterías, en particular a baterías secundarias de gran capacidad que comprenden múltiples celdas.

**10 Antecedentes de la invención**

Una batería secundaria es una batería recargable, mientras que una batería primaria es una batería que no puede recargarse. Una batería secundaria de iones de litio muestra alta tensión, alta capacidad y baja autodescarga, y es una fuente popular de energía eléctrica portátil. Sin embargo, en comparación con otros tipos de baterías secundarias, una batería de iones de litio presenta mayores riesgos de seguridad. Por lo tanto, a menudo se requiere una monitorización y control constantes de su corriente, tensión, temperatura y algunos otros parámetros bajo una unidad de gestión de baterías (BMU).

Una celda es una unidad electroquímica básica capaz de almacenar energía eléctrica, pero no necesariamente resistente contra la manipulación y las tensiones ambientales. Una batería comprende al menos una celda, y es físicamente lo suficientemente resistente como para sobrevivir a una manipulación razonable. Hay un solapamiento significativo entre estas dos definiciones. En la literatura y en la presente divulgación, la palabra "batería" y la palabra "celda" a menudo se usan indistintamente.

Las baterías de gran capacidad comprenden, en general, múltiples celdas conectadas en paralelo para entregar la corriente requerida y en serie para entregar la tensión requerida. En la configuración más simple, una pluralidad de celdas están conectadas en serie, tal como puede encontrarse en una linterna típica. Si se requiere más corriente a una tensión específica, se conecta una serie adicional de celdas en paralelo a un primer conjunto de celdas conectadas en serie.

En la figura 1A se muestra un esquema de baterías conectadas en serie-paralelo de la técnica anterior, donde varias columnas 11 de celdas conectadas en serie 10 están conectadas en paralelo entre un terminal de salida de tensión positivo 12 y un terminal de salida de tensión negativo 13. El número de celdas en una columna establece la tensión requerida y el número de columnas conectadas en paralelo proporciona la corriente requerida. La configuración en serie-paralelo garantiza que la corriente, excepto la corriente de fuga, sea idéntica en cada columna. Por lo tanto, la distribución de corriente dentro de la batería puede monitorizarse y manipularse por columna, y no por celda. Cuando se desarrolla un cortocircuito en cualquier columna, la irrupción de corriente desde otras columnas está limitada por la resistencia interna de todas las celdas que no contienen el cortocircuito. Sin embargo, en esta configuración, la tensión de cada celda necesita monitorizarse y equilibrarse por separado.

Un esquema alternativo en paralelo-serie de la técnica anterior se muestra en la figura 1B, donde una serie de celdas 10 se conectan en paralelo para formar una fila 15, y para proporcionar la corriente requerida. A continuación, una serie de filas 15 se conectan en serie para proporcionar la tensión requerida entre el terminal de salida de tensión positivo y el terminal de salida de tensión negativo. En una matriz en paralelo-serie de celdas recargables de iones de litio, la tensión de cada fila necesita monitorizarse y equilibrarse por separado. No se garantiza una corriente uniforme entre celdas paralelas en ninguna fila 15, pudiendo, por ejemplo, variar la impedancia de celda con la temperatura local. Cuando se desarrolla un cortocircuito en una de las celdas, la irrupción de corriente desde las celdas paralelas está limitada solo por la resistencia interna de las celdas en una sola fila. Por lo tanto, la corriente de irrupción es mayor que aquella con una configuración en serie-paralelo mostrada en la figura 1A.

Según la física elemental, la corriente es inherentemente idéntica en cada serie aislada, mientras que la tensión es inherentemente idéntica en cada fila conectada en paralelo. Una configuración en serie-paralelo y una configuración en paralelo-serie aprovechan una de las dos leyes de la física anteriores para simplificar el control de corriente y de tensión, respectivamente. Sin embargo, ninguna configuración puede simplificar ambos controles de corriente y de tensión. Una configuración en serie-paralelo requiere un control de tensión para cada celda, mientras que una configuración en paralelo-serie adolece de la falta de control de corriente para cada celda. En una tercera configuración (no mostrada), la tensión y la corriente de cada celda en una matriz de baterías se monitorizan y controlan de manera independiente, proporcionando un esquema complejo. Además, se disipa más energía como resultado de la cantidad de controladores que se necesitan.

El documento US 7.459.882 B2 (Morgan) se refiere a una batería recargable mejorada, que comprende una pluralidad de celdas de batería conectadas entre sí para descargar en paralelo cada una de las celdas, o cada grupo, o grupos de celdas que tienen su propia entrada de recarga respectiva, así como un circuito de conmutación para conectar las celdas o grupos de celdas a una entrada de carga. En el documento US 7.394.225 B2 (Guang et al.), se hace referencia a un cargador de batería de celdas múltiples que está configurado en una configuración en paralelo para proporcionar una carga de corriente constante. El documento US 7.276.881 B2 (Okumura et al.) se

refiere a un método de protección para evitar que las celdas de batería se descarguen en exceso y se sobrecarguen. El documento US 6.777.908 B2 (Thorne et al.) se refiere a un método y un aparato de equilibrado de celdas de batería para equilibrar celdas dentro de una batería donde algunas de las celdas están dispuestas en serie o una combinación de en serie y en paralelo. El documento US 6.735.098 B2 (Hussein et al.) se refiere a un circuito de limitación de corriente de irrupción, un dispositivo de fuente de alimentación y un dispositivo de conversión de potencia. El documento US 6.417.646 B1 (Huykoman et al.) se refiere a un circuito para proteger las celdas individuales de una batería multicelda de la sobrecarga y recopilar datos para determinar el estado de salud de las celdas. En el documento US 6.160.375 (Horie et al.) una disposición en serie de una pluralidad de celdas de iones de litio se dirige a una carga celular uniforme, en la que un diodo Zener y un resistor se conectan en serie entre el terminal positivo y negativo de cada celda para realizar una carga de celda uniforme cuando comienza una fase de cristal de electrodo positivo. El documento US 6.150.795 (Kutkut et al.) se refiere a una igualación de carga de batería que se realiza por módulos en un medio escalonado entre pares de baterías en una cadena de baterías conectadas en serie. El documento US 6.114.835 (Price) se refiere a un circuito de equilibrado de carga, que determina cuándo iniciar un modo de equilibrio de carga para igualar la carga en al menos dos celdas de una batería multicelda.

El documento US 6.043.628 (Perelle et al.) se refiere a un método y un control para celdas conectadas en serie, estando cada celda asociada a una derivación que se activa mediante los controles y que da como resultado unas mediciones con el fin de equilibrar la carga y la descarga. En el documento US 5.956.241 (LaCascio), un circuito de alimentación de batería que comprende un circuito de igualación de celdas está dirigido a garantizar que la carga de cada celda en una pila de celdas de batería múltiple se agote a la misma velocidad. El documento US 5.821.733 (Turnbull) se refiere a un sistema de carga para múltiples celdas de batería conectadas en serie e incluye una pluralidad de reguladores de derivación. El documento US 5.773.159 (Beard) se refiere a un paquete de baterías que comprende múltiples celdas de litio conectadas en serie donde se produce un desajuste de tensión entre las celdas de litio que utilizan la circuitería contenida dentro del paquete de baterías. El documento US 5.666.040 (Bourbeau) se refiere a un monitor de batería y un sistema de control donde los módulos electrónicos están conectados a terminales de baterías conectadas en serie para controlar la sobretensión, la subtensión, la sobretemperatura y la tensión de flotación. El documento US 5.650.240 (Rogers) se refiere a un sistema de baterías multicelda para una batería de al menos dos celdas, en el que puede seleccionarse una derivación selectiva para cada una de las celdas de la batería multicelda. El documento US 5.578.914 (Morita) se refiere a un sistema de carga de baterías, que está dispuesto para reducir una capacidad de derivación para permitir una operación de carga de alta corriente. El documento US 5.206.578 (Nor) se refiere a un circuito de monitorización de baterías mientras se están cargando, en el que las baterías comprenden una conexión en serie de celdas para evitar daños a las celdas. En el documento US 4.061.955 (Thomas et al.) se desvela un sistema de baterías multicelda en el que cada celda tiene un circuito de protección individual y en el que se monitoriza la sobrecarga e infracarga de cada celda y se usa un circuito de derivación para retirar una celda defectuosa de la conexión de celdas en serie. El documento US 3.872.457 (Ray et al.) se refiere a un sistema de automonitorización para baterías, que escanea las celdas de batería individuales para detectar celdas defectuosas.

Existe una necesidad, abordada por esta invención, de un esquema de conexión de baterías que simplifique la monitorización y el control tanto de la corriente como de la tensión. Más específicamente, se desea un nuevo esquema que garantice la uniformidad de la corriente, reduzca la corriente de irrupción, simplifique el equilibrio de las celdas de batería y facilite la detección de cortocircuitos.

El documento DE 34 38 783 desvela una batería, específicamente un acumulador de electrolitos acuoso o una batería de alta energía, que comprende al menos dos ramas conectadas en paralelo y que tienen, cada una de las mismas, una serie de  $m+n$  celdas, siendo  $m$  y  $n$  cualquier número natural, controlándose las perturbaciones durante la operación de la batería o la deficiencia de las celdas individuales. Hay que situar la fuente de las perturbaciones. Para este efecto, la simetría de la batería se monitoriza y evalúa insertando una toma para una línea de medición en al menos dos de las series de celdas (conectadas en paralelo, al menos entre la  $n$ ésima y la  $(m+1)$ ésima celda. Esta línea está conectada a un circuito para medir la diferencia de tensión a partir de la que es posible obtener indicaciones relativas al estado de las partes de la batería.

### Sumario de la invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una matriz de celdas de batería conectadas en serie-paralelo con un mecanismo de equilibrado de tensión espontáneo dentro de la fila, de manera que no sea necesario monitorizar ni controlar la tensión entre las filas por separado en cada serie.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una matriz de celdas de batería conectadas en paralelo-serie con un aislamiento adecuado dentro de la fila, de manera que la corriente sea aproximadamente igual en cada serie, que la distribución de corriente pueda monitorizarse y controlarse entre las series, que cada celda pueda monitorizarse por separado para detectar signos de fallos pendientes, y que la corriente de irrupción se reduzca cuando una celda experimente un cortocircuito interno.

Los objetivos anteriores se logran mediante un nuevo esquema de conexión "dura en serie-blanda en paralelo", de

acuerdo con las reivindicaciones adjuntas, en el que una conexión dura se refiere a una conexión con una resistencia insignificante, y una conexión blanda se refiere a una conexión con una resistencia apreciable, siguiendo una convención usada en el campo del control de descargas electrostáticas (EDS). La nueva configuración combina características y ventajas de las configuraciones en serie-paralelo y en paralelo-serie. Degenera a una configuración en serie-paralelo si los resistores de amortiguación tienen una resistencia infinita. Degenera a una configuración en paralelo-serie si los resistores de amortiguación tienen una resistencia cero.

En una primera realización de la presente invención, una o más baterías conectadas en serie se conectan en paralelo entre los terminales negativo y positivo del sistema de baterías que forma una configuración de baterías en serie-paralelo. Cada serie de baterías tiene el mismo número de baterías, o celdas de batería, conectadas entre los terminales negativo y positivo del sistema de baterías, donde el terminal negativo de una primera batería de cada serie se conecta al terminal negativo del sistema de baterías. El terminal negativo de una segunda batería en cada serie de baterías se conecta al terminal positivo de la primera batería. El terminal negativo de una tercera batería de cada serie se conecta al terminal positivo de la segunda batería de cada serie, y continúa hasta que el terminal negativo de la enésima batería se conecta al terminal positivo de la n-1 batería. El terminal negativo de la primera batería en la conexión de baterías en serie se conecta al terminal negativo del sistema de baterías, que a su vez se conecta a la unidad de gestión de baterías (BMU). El terminal positivo de la enésima batería de la conexión en serie de n baterías se conecta al terminal positivo del sistema de baterías, que a su vez se conecta a la BMU.

Un resistor, indicado en el presente documento como un resistor de amortiguación se conecta desde el terminal positivo de la primera batería en cada una de las series paralelas a un primer nodo de medición 27 (figura 2) para las primeras baterías de la serie de baterías conectadas en paralelo. Un resistor intermedio se conecta al terminal positivo de la segunda batería en cada una de las series paralelas de baterías a un segundo nodo de medición 27 para las segundas baterías en serie de las baterías conectadas en paralelo. Se conecta un resistor de amortiguación entre el terminal positivo de la tercera batería en cada serie de baterías a un tercer nodo de medición 27 y continúa hasta la enésima batería donde el terminal positivo de la enésima batería de cada serie se conecta directamente entre sí formando un terminal positivo del sistema de baterías. Cada uno de los resistores de amortiguación tiene un valor resistivo que es lo suficientemente grande como para limitar la corriente de irrupción cuando una celda desarrolla un cortocircuito interno grave, y lo suficientemente grande como para limitar la corriente entre columnas durante las operaciones normales. Por lo tanto, el valor de la resistencia de amortiguación es considerablemente mayor que la resistencia interna de las baterías a las que están conectados los resistores de amortiguación. Al mismo tiempo, el valor del resistor de amortiguación debe ser lo suficientemente pequeño como para mantener el equilibrio de tensión en la fila de baterías en las columnas paralelas de baterías a las que están conectados los resistores de amortiguación. Los valores de resistencia para los resistores de amortiguación pueden cumplirse si la resistencia es menor que la desviación de tensión aceptable dividida por la corriente de equilibrado continua aceptable. Por ejemplo, si la corriente operativa de una batería de litio es de aproximadamente 1 A, la corriente de equilibrado continua aceptable es inferior a 1 mA, y si se permite un desequilibrio de tensión de 10 mV, entonces la resistencia de los resistores de amortiguación puede ser del orden de  $10 \text{ mV}/1 \text{ mA} = 10 \text{ ohmios}$ , que es mucho mayor que la resistencia interna de las baterías, que es del orden de 0,1 ohmios. Cuando se produce un cortocircuito en la batería interna, la corriente de irrupción puede limitarse de manera más eficaz por una resistencia del orden de 10 ohmios que la resistencia interna de las baterías, que es del orden de 0,1 ohmios.

El primer, segundo y n-1 nodos de medición 27, el terminal negativo de paquete de baterías 24 y el terminal positivo de paquete de baterías 25, se acoplan a una unidad de gestión de baterías (BMU) a través de un multiplexor, de manera que puede medirse la tensión de batería de una fila a la vez. Cuando todas las baterías de la fila están a la misma tensión, no fluye corriente a través de los resistores de amortiguación y el nodo de medición de tensión 27 es exacto para todas las celdas de la fila. Cuando las tensiones de batería difieren en la fila, una corriente fluirá a través de los resistores de amortiguación y la tensión en el nodo de medición será la tensión promedio de la fila. Esta configuración es simétrica en el sentido de que cada serie se conecta a los nodos de medición a través del mismo valor de resistencia. No hay distinción entre series "primarias" y "auxiliares". Cuando se produce un problema grave, que comprende un cortocircuito o un aumento notable de la resistencia interna de una batería, la tensión del nodo de medición cambiará notablemente con respecto al valor esperado y la BMU medirá un desequilibrio del sistema de baterías.

En otra realización de la presente invención, una de las series 38 (figura 3) se selecciona como una serie "primaria". Todas las demás series 39 son, por lo tanto, series "auxiliares". Los terminales de batería de las series se conectan directamente a los nodos de medición; los terminales de batería de las series auxiliares se conectan a los nodos de medición a través de resistores de amortiguación. En comparación con la primera realización, se evitan los n-1 resistores de amortiguación, a expensas de la simetría.

La serie primaria se equilibra directamente por la BMU. La otra serie se equilibra indirectamente, a través de los resistores de amortiguación, por la serie primaria.

En otra realización de la presente invención, cada serie de baterías se ha conectado en serie con las baterías, comprendiendo un elemento de control de corriente 50 (figura 6) uno o más de los siguientes componentes: un elemento de detección de corriente y un elemento de control de corriente. El elemento de detección de corriente puede ser un resistor, un sensor Hall o un sensor magneto-resistivo. El componente de control de corriente puede

incluir una o más de las siguientes partes: un resistor ajustable para equilibrar la distribución de corriente durante el ensamblaje o el mantenimiento programado, un interruptor electrónico (por ejemplo, una puerta CMOS) en paralelo con un resistor de baja resistencia para el control in situ de la distribución de corriente entre columnas y un interruptor para desconectar la serie cuando se detecta un problema.

5

**Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se describirá con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 la figura 1A es un diagrama esquemático de la técnica anterior para una conexión de baterías en serie-paralelo; la figura 1B es un diagrama esquemático de la técnica anterior para una conexión de baterías en paralelo-serie; la figura 2A es un diagrama esquemático de la presente invención para una conexión de baterías híbrida simétrica dura en serie y blanda en paralelo con unos nodos de medición compartidos por múltiples columnas de series de baterías;
- 15 la figura 2B es una gráfica de la presente invención que muestra la relación entre la tensión de circuito abierto y el estado de carga de una batería;
- la figura 3 es un diagrama esquemático de la presente invención para una conexión de baterías híbrida asimétrica dura en serie y blanda en paralelo con unos nodos de medición conectados directamente a una serie primaria de baterías;
- 20 la figura 4A es un diagrama esquemático de la presente invención de una unidad de gestión de baterías (BMU) acoplada a los nodos de medición de un sistema de baterías simétrico conectado duro en serie y blando en paralelo;
- la figura 4B es un diagrama esquemático de la presente invención de una unidad de gestión de baterías (BMU) acoplada a los nodos de medición de un sistema de baterías asimétrico conectado duro en serie y blando en paralelo;
- 25 la figura 5A es un diagrama esquemático de un nuevo sistema de baterías simétrico conectado duro en serie y blando en paralelo en el que se monitoriza la tensión de cada celda además de la tensión de los nodos de medición;
- la figura 5B es un diagrama esquemático de un nuevo sistema de baterías asimétrico conectado duro en serie y blando en paralelo en el que la BMU monitoriza la tensión de cada celda;
- 30 la figura 6 es un diagrama esquemático de la presente invención donde una unidad de control de corriente se conecta en cada serie del sistema de baterías en serie-paralelo.

35

**Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

Un esquema de conexión en serie-paralelo de la técnica anterior se caracteriza por un aislamiento eléctrico entre las series conectadas en paralelo, mientras que un esquema de conexión en paralelo-serie de la técnica anterior se caracteriza por una conexión eléctrica de baja resistencia entre las series conectadas en paralelo. Las condiciones de "aislamiento eléctrico adecuado" y "conducción eléctrica adecuada" no son excluyentes entre sí, debido a que los casos que requieren aislamiento eléctrico y los casos que requieren conexión eléctrica muestran constantes de tiempo drásticamente diferentes. Específicamente, el aislamiento eléctrico entre columnas es deseable durante la carga y la descarga normales, que duran horas o minutos. El aislamiento eléctrico entre columnas también es deseable cuando una celda desarrolla un cortocircuito interno. En este caso, la corriente de irrupción dañina dura minutos o segundos. Por el contrario, la conexión eléctrica a través de la fila es deseable solo con el fin de equilibrar la tensión, cuya constante de tiempo es del orden de meses o años. Se puede establecer una conexión a través de cada fila con una constante de tiempo intermedia, por ejemplo, unos pocos días, de modo que se logre un aislamiento y una conducción adecuados. Esta nueva configuración puede caracterizarse como una configuración "dura en serie-blanda en paralelo", en la que una conexión dura se refiere a una conexión con una resistencia insignificante, y una conexión blanda se refiere a una conexión con una resistencia apreciable. Puesto que la nueva configuración combina características deseables de las configuraciones en serie-paralelo y en paralelo-serie, puede denominarse configuración "híbrida".

En la figura 2A se muestra una primera realización de la presente invención, que representa una disposición simétrica dura en serie-blanda en paralelo 20 de baterías, o celdas de batería 21. Las baterías 21 se conectan en una columna de baterías conectadas en serie 22 entre los terminales negativo y positivo 24, 25 del sistema de baterías, y, a continuación, varias de estas columnas de baterías conectadas en serie se conectan en paralelo formando filas 23 de baterías a través de las columnas. Cabe señalar que, aunque la figura 2 muestra tres columnas 22 de cuatro baterías conectadas en serie 21, una configuración más general es m columnas de n baterías conectadas en serie que está dentro del alcance de la presente invención.

Conectado a cada terminal positivo de cada batería 21 hay un resistor 26, excepto en el extremo positivo de cada serie, que se conecta al terminal positivo 25 del sistema de baterías. Los resistores 26 de cada fila de baterías 23 están conectados además a un nodo de medición 27. En la figura 2, donde n=4 hay n-1=3 nodos de medición. Cada nodo de medición 27, junto con el terminal positivo 25 y el terminal negativo 24, están acoplados a una BMU, que monitoriza y equilibra la tensión entre nodos o terminales sucesivos, es decir, la tensión de cada fila 23. Se sabe en la técnica anterior que una BMU habitualmente contiene un multiplexor (no mostrado), que permite monitorizar

sucesivamente una pluralidad de filas, usando un único convertidor analógico a digital (A/D). La BMU también puede establecer una trayectoria de derivación para drenar filas con exceso de carga, o transferir el exceso de carga a las filas que tienen una carga deficiente. Los resistores 26 tienen un valor de resistencia que es mayor que la resistencia interna de cada batería individual 21 a la que están conectados los resistores, donde la resistencia interna de las baterías es habitualmente del orden de 0,1 ohmios. Los resistores 26 deben tener una resistencia lo suficientemente alta para limitar la corriente de irrupción cuando una batería se cortocircuita, y para limitar la corriente entre columnas de modo que la corriente operativa normal sea sustancialmente idéntica en toda la columna. La resistencia del resistor 26 también debe ser lo suficientemente pequeña en valor para permitir que la corriente entre columnas mantenga el equilibrio de tensión en una fila de baterías 23.

La corriente operativa dentro de la columna de la batería de iones de litio 21 es habitualmente del orden de 1 amperio, mientras que una corriente de equilibrado entre columnas de menos de 1 mA es todo lo que se requiere para mantener una batería 21 equilibrada con respecto a otras baterías 21 en la misma fila de baterías 23. Por lo tanto, si se permite una tensión de equilibrio de 10 mV, entonces puede permitirse que el valor del resistor 26 sea de aproximadamente 10 ohmios. Este límite superior de 10 ohmios es mucho mayor que el límite inferior de 0,1 ohmios, que es la resistencia interna de las baterías 21. Un valor intermedio de 1 ohmio proporcionará una barrera adecuada para la corriente de irrupción, mantendrá la corriente dentro de la columna sustancialmente idéntica y mantendrá las tensiones de batería dentro de la columna equilibradas con un amplio margen.

Cabe señalar que la tolerancia en el equilibrio de tensión depende del estado de carga y la química del diseño de celda de batería. El estado de carga es la relación de la carga disponible con la capacidad de la batería. Una batería de iones de litio muestra habitualmente una "meseta" en la que la tensión de batería es una función débil de su estado de carga como se muestra en la figura 2B. La resistencia máxima aceptable del resistor 26 se indica como  $R_{\text{máx}}$  y se calcula mediante  $R_{\text{máx}} = (\Delta\text{SOC} \times [k])/i$ , donde  $\Delta\text{SOC}$  es la tolerancia en el estado de carga,  $i$  es el intervalo de la corriente de autodescarga de la batería 21,  $[k]$  es un promedio ponderado de la pendiente en la figura 2B y donde el factor de ponderación es el tiempo esperado que una batería 21 gastará en el estado de carga correspondiente.

También cabe señalar que la corriente dentro de la columna requerida para el equilibrado de tensión es pequeña, debido a que el equilibrado dentro de la columna es espontáneo y continuo. Por el contrario, el equilibrado de tensión entre filas se controla por la BMU, normalmente con un ciclo de trabajo muy bajo. Específicamente, la mayoría de las BMU fuera de la carcasa realizan el equilibrado de tensión entre filas solo durante la carga, y solo cuando la carga está casi completa. Por lo tanto, un diseñador de BMU puede estar acostumbrado a un requisito de corriente de equilibrado mucho mayor que lo que se necesita en las nuevas conexiones blandas en paralelo.

La resistencia de los resistores de amortiguación 26 puede optimizarse mediante un enfoque alternativo, que se centra en la constante de tiempo de la corriente dentro de la fila. Los expertos en la materia entienden que una celda de batería muestra una capacitancia, que varía con su estado de carga. El producto de la capacitancia y la resistencia define una constante de tiempo de una celda con sus resistores de amortiguación, que debería ser mucho mayor que la constante de tiempo de la corriente de irrupción en una configuración convencional en paralelo-serie que habitualmente es de unos pocos minutos, y mucho más pequeña que la constante de tiempo de autodescarga aceptable que habitualmente es de unos pocos meses. Por lo tanto, el intervalo de resistencia aceptable para los resistores de amortiguación 26 es muy amplio.

El diseño del resistor de amortiguación 26, basado en la constante de tiempo en lugar de la corriente, es especialmente adecuado en el caso de que las columnas 22 no sean idénticas. Por ejemplo, un sistema de baterías puede distribuirse físicamente en diferentes localizaciones, algunas de las cuales tienen más espacio disponible que otras. Un sistema de baterías también puede comprender una o más columnas de celdas de energía en paralelo con una o más columnas de celdas de energía. Además, puede añadirse una o más columnas de celdas a un paquete de baterías existente. En estos casos, los resistores de amortiguación conectados a cada batería 21 deben diseñarse de tal manera que cada batería 21 junto con su o sus resistores de amortiguación 26 muestren sustancialmente la misma constante de tiempo.

Los resistores de amortiguación limitan la corriente de equilibrado disipativa de la batería 21 a la que están conectados. Específicamente, cuando una BMU desvía una fila de baterías para drenar el exceso de carga, la corriente de descarga debe fluir a través de los resistores de amortiguación 26. Idealmente, la resistencia de los resistores de amortiguación 26 debería seleccionarse de tal manera que no sea necesario un limitador de corriente adicional para reducir aún más la velocidad del equilibrado de tensión entre filas.

La primera realización es simétrica en el sentido de que cada columna muestra sustancialmente la misma constante de tiempo, con respecto a los terminales de paquete 24, 25 y los nodos de medición 27. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la constante de tiempo de las baterías en las filas superior e inferior, es decir, las baterías directamente conectadas a los terminales de paquete 24 o 25, es aproximadamente la mitad de la constante de tiempo de todas las demás celdas. Esta diferencia se debe al hecho de que ambos extremos de cada serie deben conectarse directamente para minimizar la pérdida de transmisión en la alimentación eléctrica. Afortunadamente, el margen de diseño de los resistores de amortiguación es mucho más amplio que los dos anteriores. Por lo tanto, la ausencia de resistores de amortiguación en ambos extremos del paquete de baterías no perjudica seriamente el

aislamiento entre columnas en las filas superior e inferior.

En la figura 3 se muestra una segunda realización de la presente invención donde una de las columnas está conectada directamente a los nodos de medición 27, sin resistores de amortiguación 26. Esta columna se denomina "serie primaria" 38. Todas las demás columnas se acoplan a los nodos de medición 27 a través de los resistores de amortiguación 26, como en la primera realización. Las columnas distintas de la serie primaria se denominan "series auxiliares" 39. La tensión de las baterías 21 en la serie primaria se monitoriza y equilibra directamente a través de los nodos de medición 27, mientras que las baterías 21 en la serie auxiliar no se monitorizan. El equilibrio de tensión entre filas en las series auxiliares se logra indirectamente, mediante la serie primaria a través de los resistores de amortiguación 26.

En comparación con la primera realización, la segunda realización requiere  $n-1$  menos resistores de amortiguación 26. A menudo, este ahorro por sí solo no justifica su pérdida de simetría, debido a que la asimetría complica el control, especialmente en el equilibrado de tensión entre filas. La segunda realización se prefiere sobre la primera realización cuando el equilibrado de tensión entre filas implica una gran corriente de carga, que se produce cuando el equilibrado se realiza por transferencia de carga en lugar de por disipación, y cuando el equilibrado muestra un ciclo de trabajo muy bajo. En este caso, la carga de equilibrado entre filas puede transferirse rápidamente a una batería 21 en la serie primaria 38, y, a continuación, extenderse gradualmente a la batería 21 en series auxiliares para minimizar la disipación de calor. La segunda realización también puede preferirse cuando un paquete de baterías existente se expande añadiendo una columna adicional de celdas, debido a que esta realización requiere una menor modificación del paquete.

En la figura 4A se muestra un ejemplo de la primera realización de la presente invención acoplada a una BMU 42. La BMU está conectada a los nodos de medición 27, que se forman por la conexión conjunta de los resistores de amortiguación 26 que están conectados a los terminales de batería positivos de cada una de las  $n$  o  $n-1$  filas de baterías. Los terminales negativos de las  $n-1$  filas de baterías se conectan entre sí para formar el terminal negativo del sistema de baterías y se conectan a la BMU 42. Los terminales positivos de la  $n$ -ésima fila de baterías se conectan entre sí para formar el terminal positivo del sistema de baterías y se conectan a la BMU 42.

En la figura 4B se muestra un ejemplo de la segunda realización de la presente invención acoplada a una BMU, donde se muestra que la segunda columna ( $m=2$ ) es la serie principal. Sin embargo, la localización física de la serie principal es arbitraria. Tanto en la figura 4A como en la figura 4B, una disposición de baterías duras en serie-blandas en paralelo 21, o celdas de batería, se muestra con  $n=4$  baterías de conexión dura en serie y  $m=3$  columnas de conexión blanda en paralelo.

Las clavijas y conexiones de BMU que no se ven afectadas por la presente invención, por ejemplo, la conexión a el o los sensores de temperatura, al sensor de corriente y a los interruptores de carga/descarga, se omiten para mayor claridad. Cabe señalar que la conexión BMU tanto en la figura 4A como en la figura 4B es idéntica a la de una configuración en paralelo-serie convencional. En la primera realización, el monitor de tensión y el algoritmo de equilibrado, incluida la configuración de parámetros, pueden ser idénticos a los de una configuración en paralelo-serie convencional. En la segunda realización, el algoritmo de equilibrado de tensión y la configuración de parámetros pueden diferir ligeramente de los de una configuración en paralelo-serie convencional, para tener en cuenta la igualación gradual entre las series primaria y auxiliar. En general, una configuración en paralelo-serie convencional puede actualizarse en la nueva configuración dura en serie-blanda en paralelo sin el mínimo esfuerzo.

En las dos primeras realizaciones descritas anteriormente, las celdas de conexión blanda en paralelo no se monitorizan individualmente. Los signos de fallos pendientes de una sola celda, por ejemplo, un aumento en la corriente de autodescarga y un cambio en la resistencia de corriente continua (DCR) o la impedancia, son difíciles de detectar debido a que las mediciones se realizan en los nodos 27 y no directamente en el terminal de las celdas. En la figura 5A se muestra una tercera realización de la presente invención, donde los terminales 51 en la primera realización se conectan a la BMU de manera que puedan medirse tensiones de celda individuales. De manera similar, en la figura 5B se muestra una cuarta realización de la presente invención, donde los terminales 51 en la segunda realización se conectan a la BMU de manera que puedan medirse tensiones de celda individuales.

Tanto en la figura 5A como en la figura 5B, los terminales 51 están conectados directamente a la BMU. Los expertos en la materia entenderán que estas tensiones pueden medirse, o bien simultáneamente en paralelo, o secuencialmente por multiplexación, lo que puede realizarse fuera o dentro de la UMB. Los expertos en la materia también deben entender que, en lugar de, o además de, las tensiones de celda, la corriente dentro de la fila hacia o desde una celda individual puede monitorizarse por un sensor de corriente, que puede ser, o bien un pequeño resistor insertado entre los terminales 51 y la BMU 42, o un sensor remoto colocado adyacente al cable eléctrico entre los terminales 51 y la BMU 42.

También cabe señalar que las figuras y las explicaciones en el presente documento son un ejemplo de un sistema de baterías y el sistema de gestión de baterías correspondiente. El número de baterías  $n$  en serie y el número de columnas de baterías  $m$  en paralelo no se limitan al ejemplo de cualquiera de las figuras mostradas en el presente documento.

Una ventaja importante de la presente invención sobre un esquema de conexión en paralelo-serie convencional es que, en cada una de las cuatro realizaciones, la distribución de corriente entre series duras puede ajustarse durante el ensamblaje o controlarse durante la aplicación. En la figura 6 se muestra un diagrama esquemático de la quinta realización de la presente invención, en la que se inserta una unidad de control 50 en cada columna de celdas de la primera realización. Aunque las unidades de control 50, como se muestra, se conectan entre el terminal negativo 43 y la  $n=1$  fila de celdas, cabe señalar que puede insertarse una unidad de control 50 en cualquier lugar de la serie. También cabe señalar que las unidades de control 50 pueden insertarse de manera similar en las realizaciones segunda, tercera y cuarta. La unidad de control 50 es esencialmente un resistor variable, que puede ajustarse manualmente durante el ensamblaje y mantenimiento, o controlarse automáticamente durante la aplicación. Una unidad de control 50 comprende uno o más de los siguientes elementos: i) un interruptor, relé o contacto, que es económico, pero útil en los diagnósticos, y permite que un paquete de baterías funcione a capacidad reducida, en caso de que falle una serie; ii) un fusible que puede activarse por temperatura o corriente, donde el fusible puede reiniciarse o no. Un fusible protege una serie de sobrecargas o de operar a temperaturas excesivamente altas; iii) un dispositivo de coeficiente térmico positivo (PTC) en el que la resistencia aumenta de forma monótona, reversible y no lineal con la temperatura. Un PTC puede compensar el coeficiente térmico negativo de la resistencia interna de celda, reduciendo de este modo la sensibilidad de la distribución de corriente al gradiente térmico dentro del paquete de baterías. Un PTC también funciona como un fusible térmico que puede descansar; iv) un resistor ajustable de baja resistencia, por ejemplo, una tira de conductor cuya resistencia puede reducirse añadiendo un conductor en paralelo (por ejemplo, añadiendo soldadura en la superficie de la tira o soldando un conductor adicional a la tira), y aumentando al bloquear la trayectoria conductiva (por ejemplo, perforando un agujero en la tira o cortando una parte de la tira). Es útil durante el ensamblaje y el mantenimiento; v) un sensor de corriente; y vi) un interruptor electrónico (por ejemplo, un dispositivo CMOS), que puede usarse para controlar la distribución de corriente por control de retroalimentación. El diseño y la construcción de la unidad de control 50 son bastante flexibles para los expertos en la materia.

Las unidades de control 50 deben ser extremadamente fiables. Un solo fallo puede abrir una serie y desviar su parte de corriente a otras series, sobrecargándolas. Las unidades de control 50 también deben mostrar baja pérdida de potencia y generación de calor. Deben hacerse esfuerzos para reducir o eliminar la necesidad de componentes poco fiables o generadores de calor. Antes del ensamblaje, las celdas 21 deben seleccionarse y agruparse de tal manera que la capacidad  $C$  sea aproximadamente idéntica entre todas las celdas 21 de la misma serie 22. En el diseño, el producto  $RC$  de la resistencia interna  $R$  y la capacidad  $C$  de todas las series 22 debe ser idéntico en toda la matriz. La igualdad de  $RC$  debe verificarse durante el ensamblaje y el mantenimiento. Obsérvese que la resistencia interna  $R$  varía con la temperatura, y que la temperatura dentro del paquete de baterías no es uniforme. La batería y su sistema de control térmico deben diseñarse de tal manera que la temperatura promedio de cada serie permanezca igual. Esto minimizará el efecto de la variación de temperatura del paquete en la distribución de corriente.

Aunque la invención se ha mostrado y descrito especialmente con referencia a realizaciones preferidas de la misma, los expertos en la materia entenderán que pueden realizarse diversos cambios en la forma y los detalles sin alejarse del alcance de la invención.



REIVINDICACIONES

1. Un sistema de gestión de baterías acoplado a un sistema de baterías en serie-paralelo, que comprende una pluralidad de baterías (21) dispuestas en m columnas (22), de tal manera que cada columna (22) comprende n baterías (21) conectadas en serie entre los terminales negativo y positivo (43, 44) del sistema de baterías, comprendiendo el sistema de gestión de baterías:
- una pluralidad de resistores de amortiguación (26), teniendo cada resistor de amortiguación (26) un primer terminal acoplado a un nodo de conexión de dos baterías (21) de la pluralidad de baterías (21) en una columna común (22) de las baterías (21), de tal manera que n-1 resistores de amortiguación (26) de la pluralidad de resistores de amortiguación (26) están asociados a una columna (22) de baterías (21) de las m columnas (22) de baterías (21) y m resistores de amortiguación (26) de la pluralidad de resistores de amortiguación (26) están asociados a dos filas (23) de las baterías (21) que tienen la conexión común, y **caracterizado por** un segundo terminal de cada uno de los m resistores de amortiguación (26) asociados a las dos filas (23) que tienen la conexión común forman un nodo de medición (27) de una pluralidad de nodos de medición (27); y una unidad de gestión de baterías (42) conectada a los terminales negativo y positivo (43, 44) del sistema de baterías en serie-paralelo y a la pluralidad de nodos de medición (27), y configurada para monitorizar el nivel de tensión presente en cada uno de la pluralidad de nodos de medición (27) y configurada para equilibrar la tensión dentro de la pluralidad de baterías (21), proporcionando una trayectoria de derivación para drenar las baterías (21) de una fila (23) del exceso de carga y transferir el exceso de carga a al menos una fila seleccionada (23) de las baterías (21) que tienen una carga deficiente.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho sistema de baterías en serie-paralelo comprende además una unidad de control (50) en cada una de las m columnas (22) para el ajuste de la distribución de corriente entre las m columnas (22).
3. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha unidad de control (50) comprende además un sensor de corriente para monitorizar la corriente y un interruptor controlado por la unidad de gestión de baterías (BMU) (42) para apagar una columna defectuosa (22) de las m columnas (22) de baterías (21).
4. El sistema de la reivindicación 3, en el que dicha unidad de gestión de baterías (42) monitoriza la tensión de cada batería (21) en el sistema de baterías.
5. El sistema de la reivindicación 1, en el que dichos resistores de amortiguación (26) están acoplados a m-1 columnas (22) de baterías (21), y las baterías (21) en la m<sup>ésima</sup> columna (22) están acopladas directamente a los nodos de medición (27).
6. El sistema de la reivindicación 1, en el que todas las baterías (21) mencionadas de cada una de las m columnas (22) se seleccionan y se agrupan de tal manera que las baterías (21) en cada una de las m columnas (22) tengan capacidades idénticas, y un producto de la capacidad y la resistencia interna de las baterías (21) sea idéntico para todas las baterías (21) en todas las filas (23) y columnas (22) del sistema de baterías.
7. El sistema de la reivindicación 1, en el que cada una de las n baterías (21) en cada una de las m columnas (22) incluye un sistema de enfriamiento que mantiene la misma temperatura promedio de las n baterías (21) en cada una de las m columnas.
8. El sistema de la reivindicación 1, en el que dichos resistores de amortiguación (26) tienen una resistencia que es un valor de diez a cien veces mayor que una resistencia interna de las baterías (21) a las que están conectados los resistores de amortiguación (26), para limitar la corriente de irrupción y permitir que la corriente entre columnas mantenga el equilibrio de tensión en una fila (23) de baterías (21) situadas en las m columnas (22).
9. Un método para gestionar el rendimiento de un sistema de baterías en serie-paralelo que comprende una pluralidad de baterías (21) dispuestas en m columnas (22), de tal manera que cada columna (22) comprende n baterías (21) conectadas en serie entre los terminales negativo y positivo (43, 44) del sistema de baterías, comprendiendo las etapas de:
- caracterizado por:**
- formar una pluralidad de resistores de amortiguación (26);  
 conectar un primer terminal de cada resistor de amortiguación (26) a un nodo de conexión de dos baterías (21) de la pluralidad de baterías (21) en una columna común (22) de las baterías (21), de tal manera que los n-1 resistores de amortiguación (26) de la pluralidad de resistores de amortiguación (26) están asociados con una columna de baterías (21) de las m columnas (22) de baterías (21) y m resistores de amortiguación (26) de la pluralidad de resistores de amortiguación (26) están asociados a dos filas (23) de las baterías (21) que tienen la conexión común;  
 conectar un segundo terminal de cada uno de los m resistores de amortiguación (26) asociados a las dos filas (23) de baterías (21) que tienen la conexión común para formar un nodo de medición (27) de una pluralidad de

- 5      nodos de medición (27); y  
monitorizar el nivel de tensión presente en cada uno de la pluralidad de nodos de medición (27) y los terminales negativo y positivo (43, 44) del sistema de baterías en serie-paralelo; y  
proporcionar una trayectoria de derivación para drenar las baterías (21) de una fila (23) del exceso de carga y transferir el exceso de carga a al menos una fila seleccionada (23) de las baterías (21) que tienen una carga deficiente para equilibrar la carga de la pluralidad de baterías (21).
- 10     10. El método de la reivindicación 9, que comprende además las etapas de insertar una unidad de control (50) en cada una de las m columnas (22); y  
desconectar un flujo de corriente en una columna (22) de las m columnas con la unidad de control (50) para evitar funcionar a una temperatura excesivamente alta o con sobrecarga.
- 15     11. El método de la reivindicación 9, en el que dichos resistores de amortiguación (26) tienen una resistencia del orden de diez veces más que una resistencia interna de las celdas de batería (21) para limitar la corriente de irrupción y permitir que el flujo de corriente entre columnas mantenga un equilibrio de tensión en dicha fila (23) de celdas de batería (21) en las m columnas (22).
- 20     12. El método de la reivindicación 9, en el que dichos resistores de amortiguación (26) se acoplan a m-1 columnas (22) de celdas de batería (21), y la m<sup>ésima</sup> columna (22) de celdas de batería (21) se acopla directamente a dichos nodos de medición (27).
- 25     13. El método de la reivindicación 9, en el que todas las celdas de batería (21) mencionadas de cada una de las m columnas (22) se seleccionan y agrupan de tal manera que las celdas de batería (21) en cada una de las m columnas (22) tengan la misma capacidad, y un producto de la capacidad de celda y la resistencia interna de celda sea idéntico para todas las celdas de batería (21) en todas las filas (23) y columnas (22) del sistema de baterías.
- 30     14. El método de la reivindicación 9, en el que cada una de las n celdas de batería (21) en cada una de las m columnas (22) incluye un sistema de enfriamiento que mantiene la misma temperatura promedio de n celdas de batería (21) en cada una de las m columnas (22).

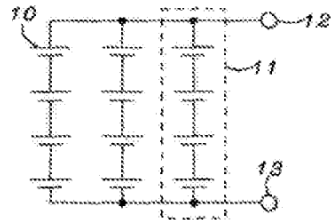


FIG. 1A - Técnica anterior

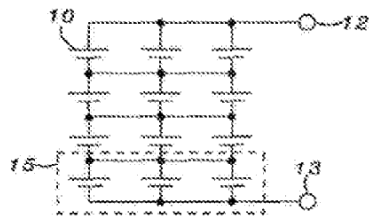


FIG. 1B - Técnica anterior

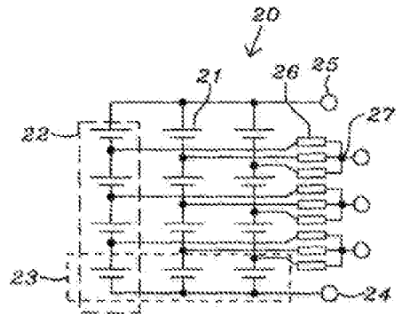


FIG. 2A

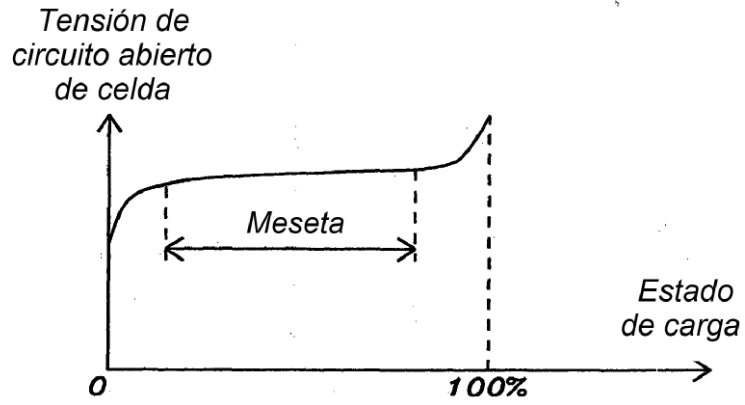


FIG. 2B

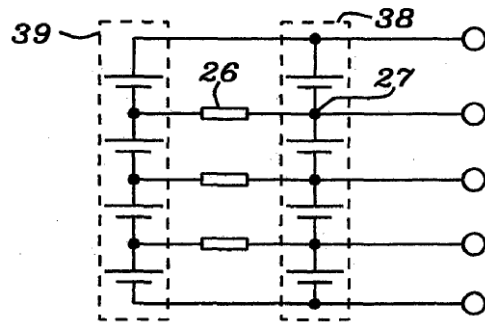


FIG. 3

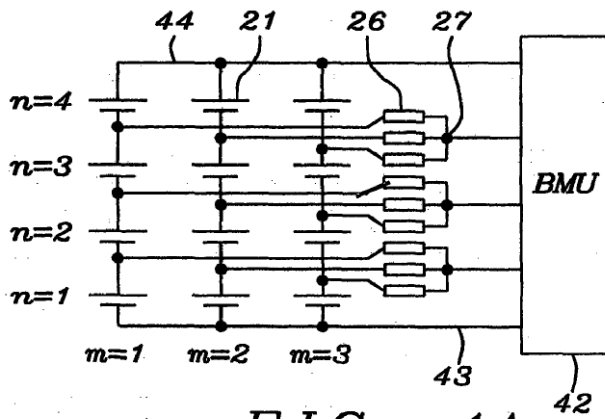


FIG. 4A

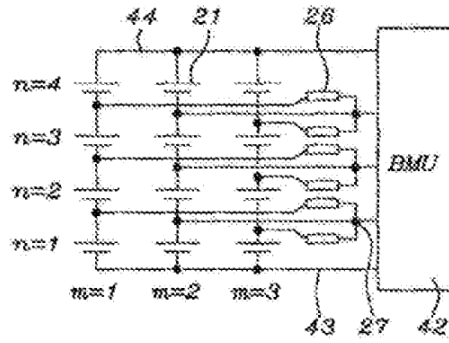


FIG. 4B

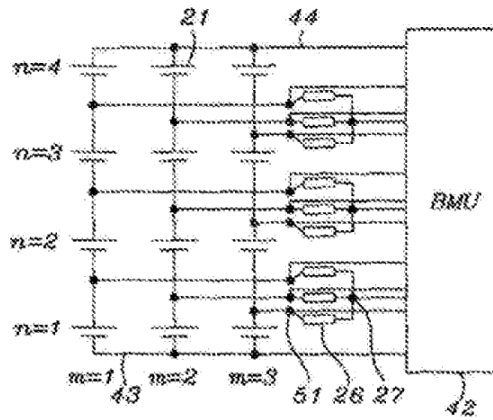


FIG. 5A

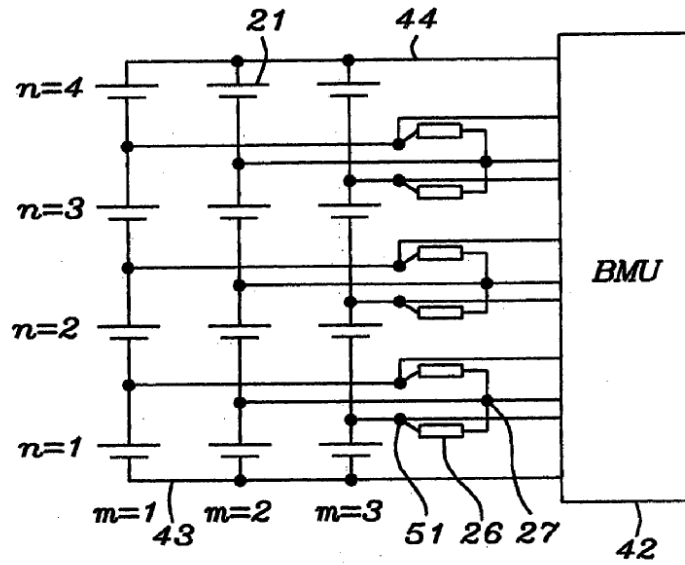


FIG. 5B

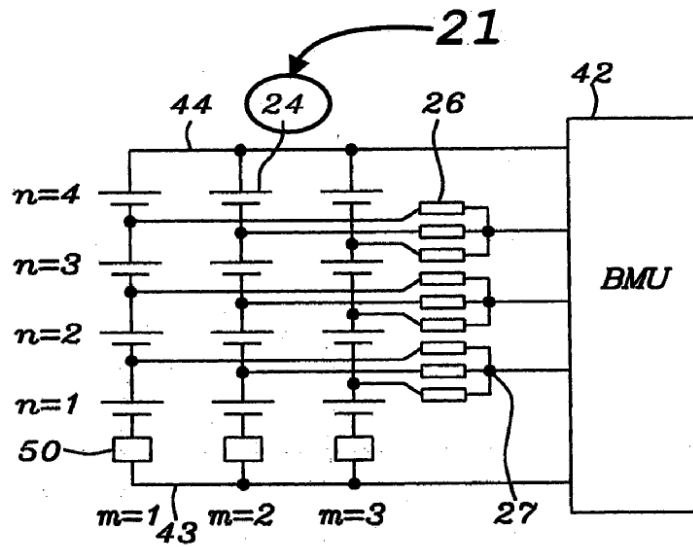


FIG. 6