

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 781 333**

51 Int. Cl.:

G01R 31/367 (2009.01)

G01R 31/3842 (2009.01)

G01R 31/389 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2016 PCT/EP2016/069226**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2017 WO17084780**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2016 E 16753339 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 3356834**

54 Título: **Procedimiento para la determinación asistida por ordenador de los parámetros de un acumulador de energía electroquímica**

30 Prioridad:

17.11.2015 DE 102015222683

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

01.09.2020

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**WOLFRUM, PHILIPP y
SEVERIN, ANJA**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 781 333 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

5 Procedimiento para la determinación asistida por ordenador de los parámetros de un acumulador de energía electroquímica

La invención se refiere a un procedimiento para la determinación asistida por ordenador de los parámetros de un acumulador de energía electroquímica.

10 Para poder hacer funcionar de forma económica el acumulador de energía electroquímica es necesario que el comportamiento del acumulador de energía se prediga para un cierto horizonte de tiempo en el futuro. Para ello se requieren ciertos parámetros del acumulador de energía electroquímica, que a menudo son difíciles de determinar.

15 Los parámetros importantes de un acumulador de energía electroquímica se conocen generalmente por el fabricante del acumulador de energía. Sin embargo, en este caso se trata a menudo del conocimiento técnico interno del fabricante, que este no quiere publicar. Además, incluso la publicación de ciertos parámetros por parte del fabricante tiene la desventaja de que estos parámetros siempre se refieren a un tipo específico de acumulador de energía y no a un cierto ejemplar de acumulador de energía. Por lo tanto, puede ocurrir que un cierto acumulador de energía electroquímica se comporte de manera diferente a como está indicado en la especificación de tipo. Esto puede resultar, por ejemplo, por fluctuaciones en las condiciones de fabricación.

20 La publicación Ala Al-Haj Hussein et al: "An overview of generic battery models", Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE, IEEE, 24 de julio de 2011 (2011-07-24), páginas 1-6, da a conocer varios modelos genéricos de un acumulador de energía electroquímica, a fin de describir su tensión en los terminales en función del estado de carga del acumulador de energía y la corriente de carga o descarga en el acumulador de energía.

25 El objeto de la invención es determinar parámetros significativos de un acumulador de energía electroquímica de una manera simple.

30 Este objetivo se consigue mediante las reivindicaciones independientes. Perfeccionamientos de la invención están definidos en las reivindicaciones dependientes.

35 El procedimiento según la invención determina los parámetros de un acumulador de energía electroquímica, donde el término del acumulador de energía electroquímica se debe entender ampliamente y puede comprender en particular tipos cualesquiera de baterías. Preferentemente, el acumulador de energía electroquímica es un acumulador de energía para el almacenamiento temporal de energía en instalaciones de generación de energía eléctrica o redes de corriente, por ejemplo, para el almacenamiento temporal de energía que se genera por instalaciones de generación de energía regenerativa tales como instalaciones fotovoltaicas o instalaciones de energía eólica.

40 En el procedimiento según la invención se procesa una pluralidad de conjuntos de datos de medición sucesivos temporalmente. Estos conjuntos de datos de medición pueden haberse determinado antes de llevar a cabo el procedimiento, pero la medición de los datos en sí también puede ser parte del procedimiento. Un conjunto de datos de medición respectivos de la pluralidad de conjuntos de datos de medición comprende los siguientes valores medidos para un instante de medición asignado:

45 un valor medido de tensión de una tensión en los terminales del acumulador de energía, un valor medido de corriente de un flujo de corriente en forma de corriente de carga o descarga del acumulador de energía y un valor medido de estado de carga del estado de carga del acumulador de energía.

50 Además, en formas de realización especiales, la temperatura del acumulador de energía electroquímica en el instante de medición asignado también está contenida en un conjunto de datos de medición respectivo.

55 En el procedimiento según la invención se procesa un modelo predeterminado del acumulador de energía, donde este modelo describe la tensión en los terminales en función del estado de carga y el flujo de corriente del acumulador de energía. Este modelo predeterminado comprende los siguientes parámetros indeterminados (es decir, parámetros que se pueden determinar al menos en parte por el procedimiento según la invención y, por lo tanto, en primer lugar representan variables en el modelo):

60 una tensión de reposo nominal, que representa la tensión de reposo del acumulador de energía sin flujo de corriente con un valor de estado de carga predeterminado (p. Ej. 50% de carga total), un factor de tensión, que es parte de un término de la tensión en los terminales que depende del estado de carga y una resistencia interna del acumulador de energía, que es parte de un término de la tensión en los terminales que depende del flujo de corriente.

65 En el marco del procedimiento según la invención, los parámetros de ecuación de al menos un sistema de ecuaciones lineales se fijan por medio de varios segundos conjuntos de datos de medición y opcionalmente adicionalmente por medio de varios primeros conjuntos de datos de medición y/o terceros conjuntos de datos de medición. Cada uno de los conjuntos de datos de medición primero a tercero (si está disponible) se selecciona de la pluralidad de conjuntos

de datos de medición. A este respecto, a cada uno de los conjuntos de datos de medición primero a tercero (si está disponible) se le asigna su propio sistema de ecuaciones lineales, cuyos parámetros de ecuación se determinan. Según la invención, las temperaturas del acumulador de energía son esencialmente las mismas en los primeros conjuntos de datos de medición. En contraste, los segundos conjuntos de datos de medición son pares de conjuntos de datos de medición en instantes de medición sucesivos con un salto de corriente en los flujos de corriente (es decir, los valores medidos de corriente correspondientes) en los instantes de medición sucesivos. Los terceros conjuntos de datos de medición se destacan porque los flujos de corriente (es decir, los valores medidos de corriente correspondientes) en estos conjuntos de datos de medición se sitúan esencialmente en 0.

Después de la fijación de los parámetros de ecuación correspondientes, la tensión de reposo nominal ya definida arriba y el factor de tensión ya definido arriba se determinan mediante la resolución del al menos un sistema de ecuaciones lineales.

En el procedimiento según la invención, el modelo predeterminado del acumulador de energía electroquímica se basa en la siguiente ecuación:

$$U(t) = U0_{nom} + dU0 * (SOC(t) - p) + R(T, SOC(t)) * I(t),$$

donde t es el tiempo;

donde $U(t)$ es la tensión en los terminales;

donde $U0_{nom}$ es la tensión de reposo nominal,

donde $dU0$ es el factor de tensión;

donde p es el valor de estado de carga predeterminado;

donde $SOC(t)$ es el estado de carga;

donde $R(T, SOC(t))$ es la resistencia interna;

donde T es la temperatura;

donde $I(t)$ es el flujo de corriente.

El modelo arriba mencionado se conoce *per se* del estado de la técnica y es muy apropiado para describir adecuadamente el comportamiento de un acumulador de energía electroquímica.

Según la invención, los parámetros de ecuación del o de uno de los sistemas de ecuaciones lineales se fijan por medio de los segundos conjuntos de datos de medición (es decir, en el caso de saltos en la corriente), de modo que el sistema de ecuaciones lineales con los parámetros de ecuación especificados es como sigue:

$$A * x = B$$

con

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p \\ 1 & SOC(i_2) - p \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} U(i_1) - R(i_1) * I(i_1) \\ U(i_2) - R(i_2) * I(i_2) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U0_{nom} \\ dU0 \end{pmatrix},$$

en donde i_1 es un instante de medición de un primer par de conjuntos de datos de medición en instantes de medición sucesivos e i_2 un instante de medición de otro segundo par de conjuntos de datos de medición en instantes de medición sucesivos;

donde $R(i_1)$ es la resistencia interna en el instante de medición i_1 y se determina como cociente de la diferencia de las tensiones en los terminales (es decir, los valores medidos de tensión correspondientes) en los instantes de medición del primer par y la diferencia de los flujos de corriente (es decir, los valores medidos de corriente correspondientes) en los instantes de medición del primer par;

donde $R(i_2)$ es la resistencia interna en el instante de medición i_2 y se determina como cociente de la diferencia de las tensiones en los terminales (es decir, los valores medidos de tensión correspondientes) en los instantes de medición del segundo par y la diferencia de los flujos de corriente (es decir, los valores medidos de corriente correspondientes) en los instantes de medición del segundo par.

Este sistema de ecuaciones se puede resolver mediante métodos conocidos *per se* formando la inversa de la matriz A.

El procedimiento según la invención presenta la ventaja de que a través de valores medidos fáciles de registrar de un acumulador de energía electroquímica se pueden determinar los parámetros significativos del mismo en forma de una tensión de reposo nominal y un factor de tensión. A este respecto, los parámetros determinados son específicos para el acumulador de energía para el que se han registrado los conjuntos de datos de medición correspondientes. Por medio de la tensión de reposo nominal y el factor de tensión, se pueden sacar conclusiones de una manera conocida *per se* sobre el estado de funcionamiento del acumulador de energía o su vida útil.

En una forma de realización especialmente preferida, en el modelo predeterminado del acumulador de energía se describe la resistencia interna por un producto de una primera función y una segunda función, donde la primera función depende de la temperatura del acumulador de energía y la segunda función depende del estado de carga del acumulador de energía. A este respecto, la primera función es desconocida, mientras que la segunda función está predeterminada. En una variante preferida se utiliza un denominado perfil de bañera como segunda función, como se describirá con más detalle a continuación.

En otra variante, los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales se fijan por medio de los primeros conjuntos de datos de medición (es decir, a las mismas temperaturas). A este respecto, el sistema de ecuaciones lineales con los parámetros de ecuación fijados es como sigue:

$$A * x = B$$

con

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p & R_2(SOC(i_1)) * I(i_1) \\ 1 & SOC(i_2) - p & R_2(SOC(i_2)) * I(i_2) \\ 1 & SOC(i_3) - p & R_2(SOC(i_3)) * I(i_3) \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} U(i_1) \\ U(i_2) \\ U(i_3) \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} U0_{nom} \\ dU0 \\ R_1(T) \end{pmatrix},$$

donde i_1, i_2 e i_3 son instantes de medición respectivos para los tres primeros conjuntos de datos de medición;

donde T es la temperatura en los primeros conjuntos de datos de medición;

donde R_1 es la primera función;

donde R_2 es la segunda función.

Este sistema de ecuaciones se puede resolver mediante métodos conocidos *per se* formando la inversa de la matriz A.

En otra variante del procedimiento según la invención, en el que los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales se fijan a su vez por medio de los primeros conjuntos de datos de medición, estos primeros conjuntos de datos de medición se determinan en un modo automático del procedimiento de forma automatizada. Los primeros conjuntos de datos de medición se seleccionan de la pluralidad de conjuntos de datos de medición en base a un valor de tolerancia, donde las temperaturas de dos conjuntos de datos de medición se clasifican como iguales cuando difieren entre sí menos que el valor de tolerancia predeterminado. Preferentemente, la selección automatizada está configurada de manera que los instantes de medición de los primeros conjuntos de datos de medición presenten los mayores intervalos de tiempo posibles entre sí. De este modo se asegura que se obtenga una solución numéricamente estable para el sistema de ecuaciones lineales arriba mencionado.

En otra variante del procedimiento según la invención, los segundos conjuntos de datos de medición se seleccionan en un modo automático del procedimiento de forma automatizada a partir de la pluralidad de conjuntos de datos de medición en base a un umbral de corriente. A este respecto, entonces está presente un salto de corriente cuando el flujo de corriente (es decir, el valor medido de corriente correspondiente) de un conjunto de datos de medición al conjunto de datos de medición siguiente en el tiempo sobrepasa el umbral de corriente predeterminado. La selección automatizada se diseña preferentemente de tal manera que se seleccionan los pares de conjuntos de datos de medición con la mayor diferencia posible en el valor medido de estado de carga de los pares entre sí. De este modo se garantiza a su vez una solución numéricamente estable para el sistema de ecuaciones arriba mencionado.

En otra variante del procedimiento según la invención, los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales se fijan por medio de los terceros conjuntos de datos de medición. A este respecto, el sistema de ecuaciones lineales con los parámetros de ecuación fijados es como sigue:

$$A * x = B$$

con

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p \\ \dots & \dots \\ 1 & SOC(i_n) - p \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} U(i_1) \\ U(i_2) \\ \dots \\ U(i_n) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U0_{nom} \\ dU0 \end{pmatrix},$$

5 donde i_1, i_2, \dots, i_n son los instantes de medición respectivos de los terceros datos de medición.

Este sistema de ecuaciones se puede resolver mediante métodos conocidos *per se* formando la pseudo-inversa de la matriz A.

10 En una forma de realización preferida de la invención, en la que los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales se fijan por medio de los terceros conjuntos de datos de medición, los terceros conjuntos de datos de medición se obtienen en un modo automático del procedimiento de forma automatizada a partir de la pluralidad de conjuntos de datos de medición en base a un umbral de corriente, donde está presente un flujo de corriente de 0 luego cuando el flujo de corriente (es decir, el valor medido de corriente correspondiente) es menor que
15 el umbral de corriente predeterminado. Preferentemente, la selección automatizada está configurada de manera que se seleccionen los terceros conjuntos de datos de medición con las mayores diferencias posibles en el valor de estado de carga, por lo que se asegura a su vez una solución numéricamente estable del sistema de ecuaciones.

20 En otra variante del procedimiento según la invención, además de la tensión de reposo nominal y el factor de tensión, también se determinan los parámetros funcionales correspondientes de la primera función arriba definida, es decir, se determina la dependencia de la resistencia interna de la temperatura. A este respecto, los parámetros funcionales se determinan utilizando la tensión de reposo nominal y el factor de tensión, que se determinan en el marco del procedimiento según la invención. Preferiblemente, a este respecto, la primera función es como sigue:

$$25 \quad R_1(T) = (a_R * e^{-b_R * T} + c_R),$$

donde T es la temperatura del acumulador de energía;

donde a_R, b_R y c_R representan los parámetros de función.

30 En la determinación de los parámetros funcionales que se acaban de describir, en una variante preferida del procedimiento según la invención entran los tres conjuntos de datos de medición a diferentes temperaturas. Preferiblemente, los conjuntos de datos de medición con la mayor distancia posible de sus temperaturas se seleccionan como los tres conjuntos de datos de medición de la pluralidad de conjuntos de datos de medición. De este modo se garantiza una determinación numéricamente estable de los parámetros de la función.

Alternativa o adicionalmente al modo automático mencionado anteriormente, en el marco de la invención también se puede usar eventualmente un modo manual para seleccionar los conjuntos de datos de medición primero y/o segundo y/o tercero. Según este modo se proporciona una interfaz de usuario y los conjuntos de datos de medición correspondientes se seleccionan a través de la especificación de un usuario en la interfaz de usuario.

40 Junto al procedimiento descrito arriba, la invención se refiere a un dispositivo para la determinación asistida por ordenador de parámetros de un acumulador de energía electroquímica, donde el dispositivo comprende una unidad de cálculo que está configurada para llevar a cabo el procedimiento según la invención o una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención.

Además, la invención comprende un producto de programa informático con un código de programa almacenado en un soporte legible por máquina para llevar a cabo el procedimiento según la invención o una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención, cuando el código del programa se ejecuta en una ordenador.

50 La invención también se refiere a un programa informático con un código de programa para llevar a cabo el procedimiento según la invención o una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención, cuando el código del programa se ejecuta en una ordenador.

55 Los ejemplos de realización de la invención se describen en detalle a continuación con referencia a las figuras adjuntas.

Muestran:

60 Fig. 1 una representación esquemática de un acumulador de energía electroquímica, cuyos parámetros se determinan, entre otros, con una forma de realización del procedimiento según la invención;

Fig. 2 un diagrama de flujo que ilustra los pasos esenciales de un procedimiento para determinar los parámetros de un acumulador de energía electroquímica;

5 Fig. 3 un diagrama que representa un ejemplo de una segunda función que depende del estado de carga del acumulador de energía y representa un término de la resistencia interna del acumulador de energía;

Fig. 4 y 5 diagramas que ilustran la selección de los conjuntos de datos de medición con saltos de corriente según una variante del procedimiento según la invención.

10 A continuación se describen las formas de realización mediante un acumulador de energía electroquímica en la forma de una batería. Un acumulador de energía semejante se muestra en la fig. 1 y se designa con ES. La tensión en los terminales $U(t)$ se aplica en los terminales representados en la forma de un polo positivo y un polo negativo de la batería, donde la variable t designa a continuación el tiempo. En la forma de realización aquí descrita, la batería se está cargando, de modo que una corriente de carga $I(t)$ fluye hacia la batería. La batería tiene una resistencia interna variable temporalmente $R(t)$, que depende del estado de carga actual SOC y la temperatura de la batería. Además, la batería tiene una tensión de reposo $U_0(\text{SOC})$, que es la tensión de la batería sin corriente de carga y depende del estado de carga SOC. A este respecto, en las formas de realizaciones descritas a continuación se considera una tensión de reposo nominal $U_{0\text{nom}}$ en un estado de carga SOC predeterminado, que se sitúa, por ejemplo, en el 50% del estado completamente cargado.

15 Como se mencionó anteriormente, en las variantes descritas a continuación se considera un funcionamiento de carga de la batería con una corriente de carga $I(t)$. A este respecto, la corriente de carga se define como un valor positivo. Sin embargo, las siguientes formas de realización también se pueden usar de manera análoga para un funcionamiento la batería durante la descarga, donde en este caso la corriente $I(t)$ representa una corriente de descarga con un signo negativo.

25 El objetivo de las variantes aquí descritas es determinar parámetros significativos de la batería en base a varios conjuntos de datos de medición, que se han determinado o medido en la batería en distintos instantes de medición. Eventualmente, el proceso de medición también puede ser parte del procedimiento aquí descrito.

30 Los siguientes valores medidos de la batería se determinan en los instantes de medición respectivos:

- 35 - corriente de carga $I(t)$ de la batería;
- tensión en los terminales $U(t)$ de la batería;
- temperatura T de la batería;
- 40 - estado de carga SOC de la batería.

45 La tensión de reposo nominal $U_{0\text{nom}}$ ya mencionada arriba y un factor de tensión dU_0 se determinan entonces por medio de varios de estos conjuntos de datos. Este factor de tensión describe una relación lineal del cambio en la tensión en los terminales en función del estado de carga de la batería, como se describe más abajo.

Todas las variantes explicadas a continuación parten del siguiente modelo para describir la tensión en los terminales $U(t)$:

$$U(t) = U_{0\text{nom}} + dU_0 * (\text{SOC}(t) - p) + R(T, \text{SOC}(t)) * I(t) . \quad (1)$$

50 A este respecto $U_{0\text{nom}}$ designa la tensión de reposo nominal con un valor de estado de carga p predeterminado, que en una variante preferida se sitúa en el 50% de la carga completa. La variable dU_0 representa el factor de tensión ya mencionado arriba y R representa la resistencia interna de la batería. Además, $I(t)$ designa la corriente de carga positiva y $\text{SOC}(t)$ representa el estado de carga.

55 A continuación se describen tres formas de realización diferentes de cómo se pueden determinar los parámetros $U_{0\text{nom}}$ y dU_0 . A este respecto, las variantes individuales se pueden usar individualmente en función de los valores medidos disponibles o, eventualmente, también en combinación para mejorar la precisión de la medición. A la invención también pertenecen la segunda variante descrita más abajo o cualquier combinación de variantes que comprenda la segunda variante.

60 La fig. 2 muestra un diagrama que ilustra los pasos esenciales del procedimiento de las formas de realización descritas a continuación. El punto de partida del procedimiento según el paso S1 es una pluralidad de datos de medición sucesivos temporalmente, en donde según la variante utilizada se consideran los primeros datos de medición M1 con los mismos valores de temperatura, los segundos datos de medición M2 produciéndose saltos de corriente o los

terceros datos de medición M3 con una corriente de carga de esencialmente 0. Todos estos datos de medición están seleccionados de los datos de medición originales. Cada uno de los procedimientos descritos a continuación usa un de modelo predeterminado MOD de la tensión en los terminales, que se describe mediante la ecuación (1) mencionada arriba, que se reproduce nuevamente en la fig. 2 para ilustración. En base a este modelo y teniendo en cuenta los conjuntos de datos de medición correspondientes, los parámetros de ecuación de un sistema de ecuaciones lineales GS se fijan entonces en un paso S2. A continuación, este sistema de ecuaciones GS se resuelve en el paso S3 con métodos conocidos, por lo que se obtienen los parámetros correspondientes U_{0nom} y $dU0$ de la batería.

Según una primera variante, que también se designa como el método de temperaturas, los parámetros U_{0nom} y $dU0$ se obtienen en base a los primeros conjuntos de datos de medición M1. Todos los valores medidos de estos primeros conjuntos de datos de medición se han determinado esencialmente a la misma temperatura de la batería. Para el método de temperaturas, la ecuación (1) arriba mencionada para describir la tensión en los terminales $U(t)$ se escribe como sigue:

$$U(t) = U_{0nom} + dU0 * (SOC(t) - p) + R_1(T) * R_2(SOC) * I(t). \quad (2)$$

A este respecto, de una manera conocida *per se*, la resistencia interna $R(T, SOC(t))$ se describe como un producto de una primera función puramente dependiente de la temperatura $R_1(T)$ y una segunda función puramente dependiente del estado de carga $R_2(SOC)$. La segunda función está predeterminada y se ha determinado empíricamente de antemano. Un ejemplo de un trazado de la segunda función está representado en la fig. 3. La función discurre a este respecto a la manera de un llamado perfil de bañera. Según este perfil, la función en primer lugar disminuye linealmente para valores de SOC pequeños de hasta aproximadamente el 10% y luego discurre constante hasta un valor de SOC de aproximadamente el 90%. A continuación, la función aumenta linealmente de nuevo. En la ecuación anterior (2) $U(i)$, $SOC(i)$ e $I(i)$ se conocen para cada instante i de los conjuntos de datos de medición. Dado que también se supone que se conoce la segunda función $R_2(i)$, quedan las tres variables desconocidas U_{0nom} , $dU0$ y $R_1(T)$.

Como ya se mencionó, ahora se consideran los primeros conjuntos de datos de medición con esencialmente la misma temperatura T del acumulador de energía. Tres de estos conjuntos de datos de medición se determinan en los instantes correspondientes (i_1, i_2, i_3) con la temperatura correspondiente T . Esto se puede hacer automáticamente, como se explicará con más detalle a continuación. Eventualmente, también puede estar prevista una interfaz de usuario, a través de la que un usuario fija los conjuntos de datos de medición correspondientes con las mismas temperaturas. Teniendo en cuenta estos tres conjuntos de datos de medición, se puede construir un sistema de ecuaciones lineales $A * x = B$ de rango 3, donde es válido:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p & R_2(SOC(i_1)) * I(i_1) \\ 1 & SOC(i_2) - p & R_2(SOC(i_2)) * I(i_2) \\ 1 & SOC(i_3) - p & R_2(SOC(i_3)) * I(i_3) \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} U(i_1) \\ U(i_2) \\ U(i_3) \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} U_{0nom} \\ dU0 \\ R_1(T) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Este sistema de ecuaciones se resuelve a continuación de una manera conocida *per se* determinando la inversa de A , es decir, se determina:

$$x = A^{-1} * B.$$

Se obtienen así los parámetros de batería U_{0nom} y $dU0$.

A continuación se describe cómo tales (primeros) tres conjuntos de datos de medición con la misma temperatura se pueden determinar de forma automatizada a partir de los conjuntos de datos de medición.

En un paso 1 se fija un valor de tolerancia de una diferencia de temperatura T_{eps} .

En un paso 2, una temperatura objetivo T_t de los primeros conjuntos de datos de medición correspondientes se pone en la temperatura mínima T_{min} de todas las temperaturas de los conjuntos de datos de medición presentes.

En el paso 3, se determinan $n \geq 3$ instantes de medición con la siguiente condición de temperatura: $T(i_1, i_2, \dots, i_n) \in [T_t - T_{eps}, T_t + T_{eps}]$. Si no se pueden encontrar tres instantes de medición semejantes, la temperatura objetivo T_t aumenta en d_Temp ($T_t = T_t + d_Temp$) y se repite el paso 3, y a saber como máximo hasta que se alcanza $T_t = T_{max}$. Si se encuentran $n \geq 3$ instantes, se continúa en el paso 4.

En el paso 4 se verifica si algunos de los n instantes de medición son adyacentes entre sí. Si este es el caso se conserva un instante de medición individual del conjunto respectivo de los instantes de medición adyacentes y se eliminan los instantes de medición restantes del conjunto. Esto es necesario porque los instantes de medición adyacentes pueden llevar a que la matriz superior A se vuelva numéricamente inestable porque ya no presenta el rango 3. En tal caso, la variable x ya no se puede determinar. Después de eliminar los instantes de medición se pasa al siguiente paso 5.

5 En el paso 5, en primer lugar se verifica si todavía hay al menos tres instantes de medición después de eliminar los instantes de medición adyacentes. Si este es el caso, se ha encontrado un conjunto adecuado de instantes de medición (i_1, i_2, \dots, i_n) y se pasa al paso 6. Si este no es el caso, la temperatura objetivo T_t se eleva con el incremento d_Temp ($T_t = T_t + d_Temp$) y el procedimiento vuelve al paso 3.

10 En el paso 6, los índices que abarcan la mayor diferencia de tiempo se seleccionan del conjunto (i_1, i_2, \dots, i_n) de los instantes de medición con la misma temperatura, es decir, se seleccionan i_1, i_n como índices y el índice adicional seleccionado adyacente a $(i_1 + i_n)/2$.

15 En el paso 7 se verifica si $T_t < T_{max}$. Si este es el caso, el procedimiento vuelve al paso 3 para encontrar conjuntos adecuados adicionales de instantes de medición. De lo contrario, el procedimiento finaliza si se ha encontrado al menos un conjunto de instantes de medición. Si no se pudo encontrar dicha conjunto, el valor de tolerancia T_{eps} se eleva y el procedimiento vuelve al paso 2.

20 Después de la iteración llevada a cabo, es posible que haya más conjuntos de instantes de medición adecuados y, por lo tanto, primeros conjuntos de datos de medición. En este caso se identifica aquel conjunto que conduce a la matriz A que es numéricamente la más estable. Para esto, la varianza de la segunda y tercera columna de la matriz A se calcula para cada conjunto de tres instantes de medición de la misma temperatura. Luego se determina el conjunto de instantes de medición con la suma máxima de las variaciones de la segunda y tercera columna. Para este conjunto óptimo de instantes de medición correspondientes se determinan entonces las matrices A y B y se determina el vector x y, por lo tanto, los parámetros U_{0nom} y dU_0 .

25 En una segunda variante del procedimiento aquí descrito, que se designa como el método de saltos de corriente, se realiza la determinación U_{0nom} y dU_0 al aparecer saltos de corriente entre conjuntos de datos de medición temporalmente adyacentes.

Se considera nuevamente el siguiente modelo para la tensión en los terminales:

30
$$U(t) = U_{0nom} + dU_0 * (SOC(t) - p) + R(t) * I(t). \quad (4)$$

A este respecto, la resistencia interna R(t) se describe a su vez mediante una primera y segunda función de la siguiente manera:

35
$$R(t) = R_2(SOC(t)) * R_1(T(t)) \quad (5)$$

En la ecuación (4) arriba mencionada, las cantidades U(i), SOC(i) e I(i) se conocen para cada instante de medición i. Por lo tanto, solo hay tres variables desconocidas U_{0nom} , dU_0 y R(i).

40 Ahora se utiliza el hecho de que la temperatura T y el estado de carga SOC no cambian significativamente en los instantes de medición en los que aparece un salto de corriente repentino (es decir, un gran cambio de corriente) del flujo de corriente I(t). En consecuencia, se puede suponer como constante la resistencia interna R(t) antes y después del salto de corriente y determinarse en base a la siguiente ecuación:

45
$$R(i) = \frac{U(i+1) - U(i)}{I(i+1) - I(i)}$$

Aquí i designa el instante de medición antes del salto de corriente e i+1 el instante de medición después del salto de corriente. Por lo tanto, también se conoce la resistencia interna R(i) en el salto de corriente correspondiente y solo quedan U_{0nom} y dU_0 como variables desconocidas.

50 En el método de salto de corriente aquí descrito, ahora se identifican dos saltos de corriente en los conjuntos de datos de medición y en base a ellos se define el sistema de ecuaciones lineales $A * x = B$, donde es válido:

55
$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p \\ 1 & SOC(i_2) - p \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} U(i_1) - R(i_1) * I(i_1) \\ U(i_2) - R(i_2) * I(i_2) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U_{0nom} \\ dU_0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

A este respecto, i_1 designa un instante de medición de los instantes de medición adyacentes de un salto de corriente e i_2 un instante de medición de los instantes de medición adyacentes del otro salto de corriente.

60 El sistema de ecuaciones (6) arriba mencionado se determina entonces mediante la determinación de la inversa de A, es decir, se determina:

$$x = A^{-1} * B.$$

De esta forma, se obtienen nuevamente los parámetros de batería $dU0$ y $U0_{nom}$.

5 A continuación se describe cómo los saltos de corriente correspondientes se pueden seleccionar de forma automatizada a partir de los conjuntos de datos de medición.

En el paso 1 se inicializa un contador $c = 0$.

10 En el paso 2, la distribución máxima de las corrientes de carga se determina en función de los conjuntos de datos de medición existentes, es decir, se determina $\Delta max = |I_{max} - I_{min}|$.

En un paso 3 se determina un factor umbral inicial f (por ejemplo, $f = 0.3$). A este respecto se identifica un salto de corriente para dos instantes de medición sucesivos i e $i+1$ luego cuando es válida la siguiente condición:

15
$$|I(i + 1) - I(i)| > f * \Delta max. \quad (7)$$

En el paso 4, se verifica, comenzando con el instante de medición $i = 1$, si se cumple la condición arriba mencionada según la ecuación (7). Si este es el caso, se ha determinado un salto de corriente adecuado. Luego se eleva el contador c y se almacena el instante correspondiente i . Finalmente, el procedimiento continúa con $i = i+1$ y el paso 4 se repite hasta que se hayan ejecutado todos los conjuntos de datos de medición.

20

En el paso 5 se verifica si se han determinado al menos dos saltos de corriente. Si este es el caso se pasa al paso 6. Si este no es el caso, el factor umbral f (por ejemplo $f = 0.9 * f$) se reduce y se vuelve al paso 4 hasta que se hayan encontrado $c \geq 2$ saltos de corriente o hasta que el factor umbral f haya caído por debajo de un valor mínimo (por ejemplo $f_{min} = 0.05$). En el caso de $f < f_{min}$ no se han encontrado suficientes saltos en la corriente y el algoritmo se termina.

25

En el paso 6, a partir de los saltos de corriente respectivos (es decir, los pares de instantes de medición sucesivos de los saltos de corriente respectivos) se seleccionan aquellos saltos de corriente para los que es mayor la diferencia entre el valor de estado de carga de la batería. Esto se realiza porque se seleccionan aquellos dos saltos de corriente a partir de los saltos de corriente determinados para los que el estado de carga es máximo y mínimo. De este modo se tiene en cuenta que dos instantes de medición con esencialmente el mismo estado de carga conducirían a que la matriz A se vuelva numéricamente inestable. En este caso, A no se puede usar para calcular el vector x arriba mencionado y, por lo tanto, $U0_{nom}$ y $dU0$.

30

35 En un paso 7, $U0_{nom}$ y $dU0$ se determinan entonces por medio del sistema de ecuaciones (6) arriba mencionado.

Las fig. 4 y fig. 5 muestran dos diagramas que reproducen un resultado del algoritmo recién descrito para la selección automatizada de los saltos de corriente. A este respecto, la fig. 4 representa los valores de corriente I a lo largo del tiempo t (es decir, los instantes de medición sucesivos), mientras que la fig. 5 reproduce los valores SOC correspondientes en los instantes de medición de la fig. 4. A este respecto, los saltos de corriente que se han identificado con el algoritmo se muestran a través de dos rectángulos en los diagramas respectivos. Como se puede ver en la comparación de las fig. 4 y fig. 5, como los dos saltos de corriente se han seleccionado aquellos para los que la diferencia de SOC es máxima.

40

45 Alternativamente a la determinación matemática recién descrita de saltos de corriente, también puede estar prevista eventualmente de nuevo una interfaz de usuario, a través de la que un usuario puede fijar interactivamente los saltos de corriente en los conjuntos de datos de medición. Por ejemplo, para ello se puede reproducir el trazado actual temporal de la corriente, de modo que el usuario, por ejemplo, a través de un ratón puede seleccionar aquellos puntos que se deben tratar como saltos en la corriente.

50

A continuación se describe una tercera variante de la invención para determinar $U0_{nom}$ y $dU0$. En esta variante se consideran conjuntos de datos de medición tales en los que la corriente $I(t)$ se sitúa esencialmente en 0. Por lo tanto, la ecuación (1) arriba mencionada para la tensión en los terminales $U(t)$ se puede simplificar como sigue:

55

$$U(t) = U0_{nom} + dU0 * (SOC(t) - p). \quad (8)$$

En esta variante se determinan $n \geq 2$ instantes de medición con una corriente esencialmente de 0 (si está presente) y a continuación el siguiente sistema de ecuaciones se define a partir de n ecuaciones lineales:

60

$$A * x = B,$$

donde:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p \\ 1 & SOC(i_2) - p \\ \dots & \dots \\ 1 & SOC(i_n) - p \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} U(i_1) \\ U(i_2) \\ \dots \\ U(i_n) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U_{0nom} \\ dU0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Este sistema de ecuaciones se resuelve, donde para ello se determina la pseudo-inversa de A, es decir, el vector x se determina como sigue:

5

$$x = A^+ * B.$$

En esta variante, se requieren al menos dos instantes de medición, pero también se puede usar un número mayor. Cuanto mayor sea el número de instantes de medición, tanto más robusto será el algoritmo.

10

A continuación se describe cómo los instantes de medición se pueden determinar de forma automatizada con los valores de corriente correspondientes de 0. No obstante, alternativamente estos instantes de medición también se pueden especificar manualmente a través de una interfaz de usuario.

15

En un paso 1, dichos instantes de medición i se determinan a partir de los conjuntos de datos de medición para los que es válido $|I(i)| < I_{umbral}$. Según la configuración, el tamaño I_{umbral} se puede fijar adecuadamente (por ejemplo, $1e-4$). Los instantes de medición encontrados se tratan entonces como instantes de medición con valores de corriente de 0. Si no se encuentran al menos dos instantes de medición en el paso 1, no se puede llevar a cabo el procedimiento para determinar los parámetros de la batería y el algoritmo se finaliza.

20

Si se determinan varios de estos instantes de medición, aquel con el valor de SOC más pequeño y más grande se selecciona a partir de estos instantes de medición en el paso 2. Esto conduce a su vez a la mejor estabilidad numérica.

25

En un paso 3, a continuación se retiran aquellos instantes de medición del conjunto de instantes de medición con valores de corriente de 0, que presentan valores de SOC cerca de los instantes de medición ya seleccionados. De esta forma, para determinar los parámetros de la batería se buscan aquellos instantes de medición, cuyos valores de SOC presentan una gran distancia respecto a los puntos de medición ya seleccionados.

30

En otra configuración, que se puede combinar con cada una de las variantes descritas arriba para determinar $dU0$ y U_{0nom} , también se determinan los parámetros para describir la primera función $R_1(t)$ arriba mencionada. A este respecto, se parte de que esta primera función se puede describir a través de los parámetros a_R , b_R y c_R , donde $R_1(t)$ es como sigue:

35

$$R_1(T) = a_R * e^{-b_R * T} + c_R. \quad (10)$$

La resistencia interna R se representa por la siguiente ecuación:

$$R(T, SOC) = R_1(T) * R_2(SOC) = (a_R * e^{-b_R * T} + c_R) * R_2(SOC). \quad (11)$$

40

La segunda función $R_2(SOC)$ a su vez se conoce y se puede representar p. ej. por el perfil de bañera arriba mencionado

45

Para determinar los parámetros a_R , b_R y c_R se seleccionan tres instantes de medición (i_1, i_2, i_3) con diferentes valores de temperatura $T(i_1), T(i_2), T(i_3)$. Los instantes de medición (i_1, i_2, i_3) se pueden seleccionar, por ejemplo, al azar a partir de los conjuntos de datos de medición. Sin embargo, los instantes de medición se seleccionan preferentemente de manera que las temperaturas $T(i_1), T(i_2), T(i_3)$ presentan la mayor distancia posible entre sí. Para lograrlo, como instantes de medición i_1 e i_3 se determinan los instantes de medición con el mínimo y el máximo de todas las temperaturas a partir de los conjuntos de datos de medición. Como otro instante de medición i_2 se fija entonces aproximadamente el valor medio de temperatura entre la temperatura mínima y máxima, es decir, es válido

50

$$T(i_1) = T_{min}, \quad T(i_3) = T_{max}, \quad T(i_2) \approx \frac{T_{min} + T_{max}}{2}.$$

Usando las ecuaciones (4) y (5) arriba mencionadas, la primera función se puede escribir como sigue para los instantes de medición correspondientes i:

55

$$R_1(T(i)) = \frac{U(T(i)) - U_{0nom} - dU0 * (SOC(T(i)) - p)}{R_2(SOC(T(i))) * I(T(i))}. \quad (12)$$

En esta ecuación se conocen $U(i)$, $SOC(i)$ e $I(i)$. Además, los parámetros constantes U_{0nom} y dU_0 se conocen dado que se han determinado con uno de los métodos descritos anteriormente. Asimismo se conoce R_2 , que se representa, p. ej., por el perfil de bañera descrito arriba.

5 Las magnitudes $R_1(T(i_1))$, $R_1(T(i_2))$ y $R_1(T(i_3))$ para los tres instantes de medición seleccionados ahora se determinan según la ecuación (12) arriba mencionada. A continuación, el siguiente algoritmo se usa para encontrar los parámetros a_R , b_R y c_R (en ese caso se usan las siguientes abreviaturas: $T(i_1) = T_1$, $T(i_2) = T_2$, $T(i_3) = T_3$).

Se calcula la variable auxiliar

10

$$R_x = \frac{R_1(T_1) - R_1(T_2)}{R_1(T_1) - R_1(T_3)}$$

15 A siguiente, la siguiente ecuación se resuelve con un método para encontrar ceros (por ejemplo, búsqueda de Newton):

$$R_x - \frac{1 - e^{b_R * (T_1 - T_2)}}{1 - e^{b_R * (T_1 - T_3)}} = 0. \quad (13)$$

De esta manera se obtiene el parámetro b_R .

20

A partir de esto, los parámetros a_R y c_R se pueden determinar como sigue:

$$a_R = \frac{R_1(T_1) - R_1(T_2)}{e^{-b_R * T_1} - e^{-b_R * T_2}}, \quad c_R = R_1(T_1) - a_R * e^{-b_R * T_1}. \quad (14)$$

25 Como se puede reconocer, la relación anterior $R_1(T) = (a_R * e^{-b_R * T} + c_R)$ modela la dependencia de la temperatura de forma no lineal. Sin embargo, también se describe a este respecto una relación lineal, siempre que el parámetro b_R sea muy pequeño. En el caso de que la dependencia real de la temperatura sea casi lineal, esto se detecta con el procedimiento aquí descrito debido a un valor muy pequeño de b_R .

30 Las formas de realización descritas anteriormente presentan una serie de ventajas. En particular, los parámetros importantes de un acumulador de energía electroquímica se determinan en forma de una tensión de reposo nominal y un factor de tensión sin el uso de un protocolo de medición especial. Mejor dicho, solo debe estar presente un número suficiente de conjuntos de datos de medición que se han registrado durante el funcionamiento de la batería. Además, el procedimiento también permite determinar eventualmente la dependencia de la temperatura de la resistencia interna de la batería.

35

Se pueden usar tres enfoques diferentes para determinar los parámetros de la batería. Eventualmente, los resultados de estos diferentes enfoques para la validación mutua y la mejora de los resultados de la estimación, por ejemplo, en el caso de datos con ruido, se pueden combinar entre sí.

40

El procedimiento no requiere ninguna inicialización especial con ciertos valores de parámetros. Además, el procedimiento se puede ejecutar de forma totalmente automática, don en este caso los conjuntos de datos de medición correspondientes también se seleccionan automáticamente. Sin embargo, alternativa o adicionalmente, un usuario puede llevar a cabo una selección interactiva de conjuntos de datos de medición a través de una interfaz de usuario.

45

Con el procedimiento, los parámetros de la batería no se determinan para un tipo de batería específico, sino individualmente para la batería individual que se está utilizando actualmente. En particular, con los parámetros se pueden predecir la vida útil total, las pérdidas de energía esperadas, el tiempo esperado hasta el recambio y similares, a través de métodos conocidos *per se*. De esta manera, el procedimiento ofrece resultados importantes para la planificación y la optimización basadas en modelos de una batería durante su vida útil.

50

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación asistida por ordenador de parámetros de un acumulador de energía electroquímica (ES),

5 donde se procesan una pluralidad de conjuntos de datos de medición (M1, M2, M3) sucesivos temporalmente, donde un conjunto de datos de medición (M1, M2, M3) respectivo comprende los siguientes valores medidos para un instante de medición asignado:

10 un valor medido de tensión de una tensión en los terminales (U(t)) del acumulador de energía (ES), un valor medido de corriente de un flujo de corriente (I(t)) en forma de corriente de carga o descarga del acumulador de energía (ES) y un valor medido de estado de carga del estado de carga (SOC(t)) del acumulador de energía (ES);

15 en donde se procesa un modelo predeterminado (MOD) del acumulador de energía (ES), que describe la tensión en los terminales (U(t)) en función del estado de carga (SOC(t)) y el flujo de corriente (I(t)), donde el modelo predeterminado (MOD) comprende los siguientes parámetros indeterminados:

20 una tensión de reposo nominal (U0_{nom}), que representa la tensión de reposo del acumulador de energía (ES) sin flujo de corriente (I(t)) con un valor de estado de carga predeterminado (p), un factor de tensión (dU0), que es parte de un término de la tensión en los terminales (U(t)) que depende del estado de carga (SOC(t)) y una resistencia interna (R(T,SOC)) del acumulador de energía (ES), que es parte de un término de la tensión en los terminales (U(t)) que depende del flujo de corriente (I(t));

25 donde en el procedimiento se llevan a cabo los siguientes pasos:

- fijación de los parámetros de ecuación de al menos un sistema de ecuaciones lineales (GS) que se basa en el modelo predeterminado (MOD);

30 - determinación de la tensión de reposo nominal (U0_{nom}) y del factor de tensión (dU0) mediante la resolución del al menos un sistema de ecuaciones lineales,

caracterizado por que

35 - los parámetros de tensión continua del o de uno o de los sistemas de ecuaciones lineales se fijan por medio de varios segundos conjuntos de datos de medición (M2), que son pares de conjuntos de datos de medición en instantes de medición sucesivos con un salto de corriente en los flujos de corriente (I(t)) en los instantes de medición sucesivos;

40 - donde el modelo predeterminado (MOD) del acumulador de energía (ES) se basa en la siguiente ecuación:

$$U(t) = U0_{nom} + dU0 * (SOC(t) - p) + R(T, SOC(t)) * I(t),$$

45 donde t es el tiempo;

donde U(t) es la tensión en los terminales;

donde U0_{nom} es la tensión de reposo nominal;

50 donde dU0 es el factor de tensión;

donde p es el valor de estado de carga predeterminado;

55 donde SOC(t) es el estado de carga;

donde R(T,SOC(t)) es la resistencia interna;

donde T es la temperatura;

60 donde I(t) es el flujo de corriente;

- donde el o el uno de los sistemas de ecuaciones lineales con los parámetros de ecuación especificados es como sigue:

65

$$A * x = B$$

con

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p \\ 1 & SOC(i_2) - p \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} U(i_1) - R(i_1) * I(i_1) \\ U(i_2) - R(i_2) * I(i_2) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U0_{nom} \\ dU0 \end{pmatrix}$$

en donde i_1 es un instante de medición de un primer par de conjuntos de datos de medición en instantes de medición sucesivos e i_2 un instante de medición de otro segundo par de conjuntos de datos de medición en instantes de medición sucesivos;

donde $R(i_1)$ es la resistencia interna (R(T,SOC)) en el instante de medición i_1 y se determina como cociente de la diferencia de las tensiones en los terminales (U(t)) en los instantes de medición del primer par y la diferencia de los flujos de corriente en los instantes de medición del primer par;

donde $R(i_2)$ es la resistencia interna (R(T,SOC)) en el instante de medición i_2 y se determina como cociente de la diferencia de las tensiones en los terminales (U(t)) en los instantes de medición del segundo par y la diferencia de los flujos de corriente (I(t)) en los instantes de medición del segundo par.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde la fijación de los parámetros de ecuación del al menos un sistema de ecuaciones lineales (GS) se realiza adicionalmente por medio de varios primeros conjuntos de datos de medición (M1), en los que las temperaturas (T) del acumulador de energía (ES) son esencialmente las mismas, y/o por medio de varios terceros conjuntos de datos de medición en los que los flujos de corriente (I(t)) se sitúan esencialmente en cero.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, donde en el modelo predeterminado (MOD) la resistencia interna (R(T,SOC)) se describe por un producto de una primera función y una segunda función, donde la primera función depende de la temperatura (T) del acumulador de energía (ES) y la segunda función dependen del estado de carga (SOC(t)) del acumulador de energía (ES) y donde la primera función es desconocida y la segunda función está predeterminada.
4. Procedimiento según las reivindicaciones 2 y 3, donde los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales (GS) se fijan mediante los primeros conjuntos de datos de medición (M1) y el sistema de ecuaciones lineales (GS) con los parámetros de ecuación fijados es como sigue:

$$A * x = B$$

con

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p & R_2(SOC(i_1)) * I(i_1) \\ 1 & SOC(i_2) - p & R_2(SOC(i_2)) * I(i_2) \\ 1 & SOC(i_3) - p & R_2(SOC(i_3)) * I(i_3) \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} U(i_1) \\ U(i_2) \\ U(i_3) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U0_{nom} \\ dU0 \\ R_1(T) \end{pmatrix}$$

donde i_1, i_2 e i_3 son instantes de medición respectivos para los tres primeros conjuntos de datos de medición (M1);

donde T es la temperatura en los primeros conjuntos de datos de medición (M1);

donde R_1 es la primera función;

donde R_2 es la segunda función.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores en combinación con la reivindicación 2, donde los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales (GS) se fijan por medio de los primeros conjuntos de datos de medición (M1) y los primeros conjuntos de datos de medición (M1) se seleccionan en un modo automático del procedimiento de forma automatizada a partir de la pluralidad de conjuntos de datos de medición (M1, M2, M2) en base a un valor de tolerancia, donde las temperaturas (T) de dos conjuntos de datos de medición se clasifican como iguales si difieren menos que el valor de tolerancia predeterminado, donde la selección automática está configurada preferentemente de manera que los instantes de medición de los primeros conjuntos de datos de medición (M1) tienen los mayores intervalos de tiempo posibles entre sí.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde los segundos conjuntos de datos de medición (M2) se seleccionan en un modo automático del procedimiento de forma automatizada a partir de la pluralidad de conjuntos de datos de medición (M1, M2, M3) en base a un umbral de corriente, donde un salto de corriente está presente luego cuando el flujo de corriente sobrepasa el umbral de corriente predeterminado de un conjunto

de datos de medición al conjunto de datos de medición siguiente en el tiempo, donde la selección automatizada está configurada preferiblemente de tal manera que se seleccionen pares de conjuntos de datos de medición con la mayor diferencia posible en el valor medido de estado de carga.

- 5 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores en combinación con la reivindicación 2, donde los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales (GS) se fijan por medio de los terceros conjuntos de datos de medición (M3) y el sistema de ecuaciones lineales (GS) con los parámetros de ecuación fijados es como sigue:

10
$$A * x = B$$

con

$$A = \begin{pmatrix} 1 & SOC(i_1) - p \\ 1 & SOC(i_2) - p \\ \dots & \dots \\ 1 & SOC(i_n) - p \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} U(i_1) \\ U(i_2) \\ \dots \\ U(i_n) \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} U0_{nom} \\ dU0 \end{pmatrix}$$

15 donde i_1, i_2, \dots, i_n son los instantes de medición respectivos de los terceros datos de medición.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores en combinación con la reivindicación 2, donde los parámetros de ecuación de uno de los sistemas de ecuaciones lineales (GS) se fijan mediante los terceros conjuntos de datos de medición (M3) y los terceros conjuntos de datos de medición (M3) se seleccionan en un modo automático del procedimiento de forma automatizada a partir de la pluralidad de conjuntos de datos de medición (M1, M2, M3) en base a un umbral de corriente, donde un flujo de corriente (I(t)) de cero está presente cuando el flujo de corriente (I(t)) es menor que el umbral de corriente predeterminado, donde la selección automatizada está configurada preferiblemente de manera que se seleccionan los terceros conjuntos de datos de medición (M3) con las mayores diferencias posibles en el valor medido de estado de carga.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores en combinación con la reivindicación 3, donde la primera función se describe a través de uno o varios parámetros de función, que se determinan usando la tensión de reposo nominal determinada ($U0_{nom}$) y el factor de tensión determinado (dU0), donde la primera función es preferiblemente como sigue:

$$R_1(T) = (a_R * e^{-b_R * T} + c_R),$$

donde T es la temperatura del acumulador de energía (ES);

donde a_R, b_R y c_R representan los parámetros de función.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, donde se comprenden tres conjuntos de datos de medición a diferentes temperaturas (T) entran en la determinación del o de los parámetros de función, donde los conjuntos de datos de medición con la mayor distancia posible de sus temperaturas se seleccionan preferiblemente como los tres conjuntos de datos de medición (M1, M2, M3) de la pluralidad de conjuntos de datos de medición.

11. Dispositivo para la determinación asistida por ordenador de los parámetros de un acumulador de energía electroquímica (ES), que comprende una unidad de cálculo que está establecida para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

12. Producto de programa informático con un código de programa almacenado en un soporte legible por máquina para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, cuando el código de programa se ejecuta en una ordenador.

13. Programa informático con un código de programa para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, cuando el código de programa se ejecuta en una ordenador.

FIG 1

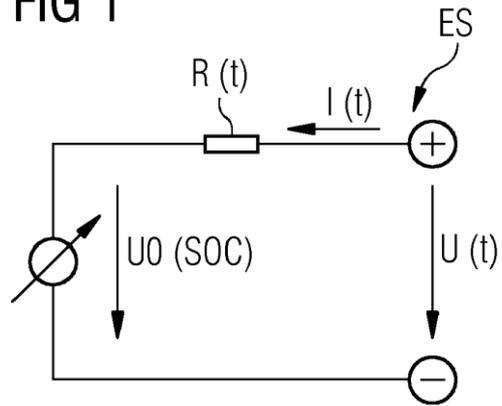


FIG 2

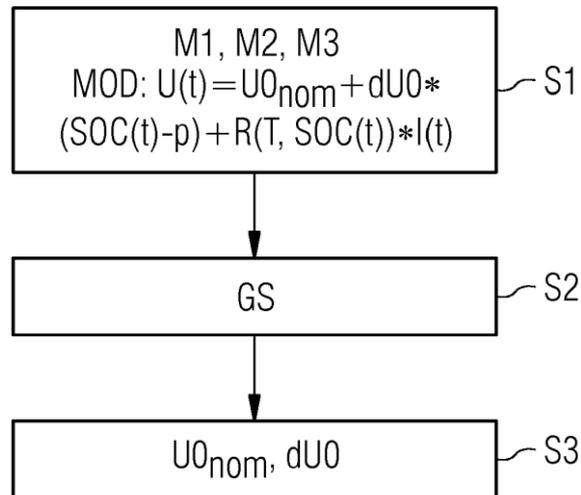


FIG 3

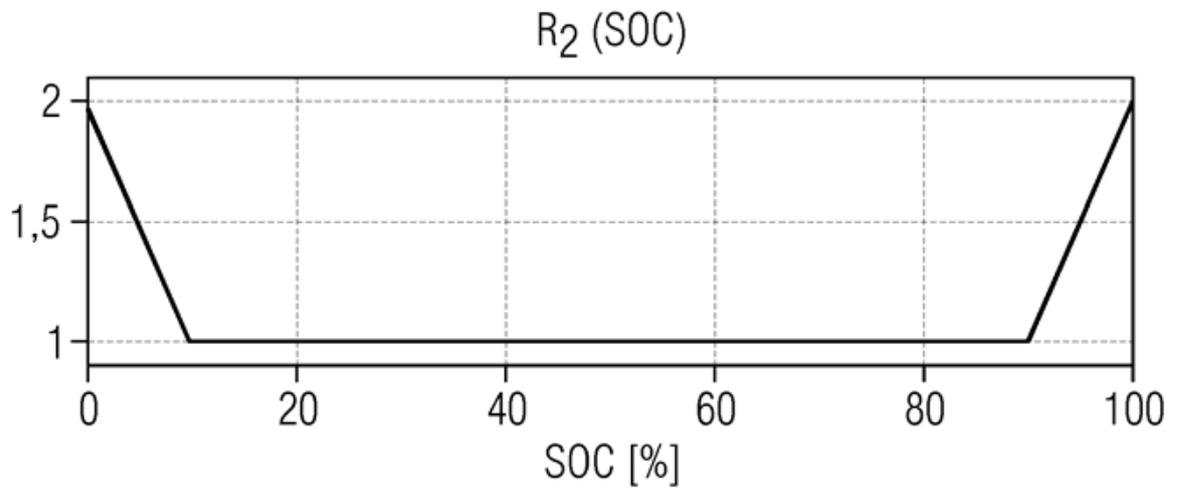


FIG 4

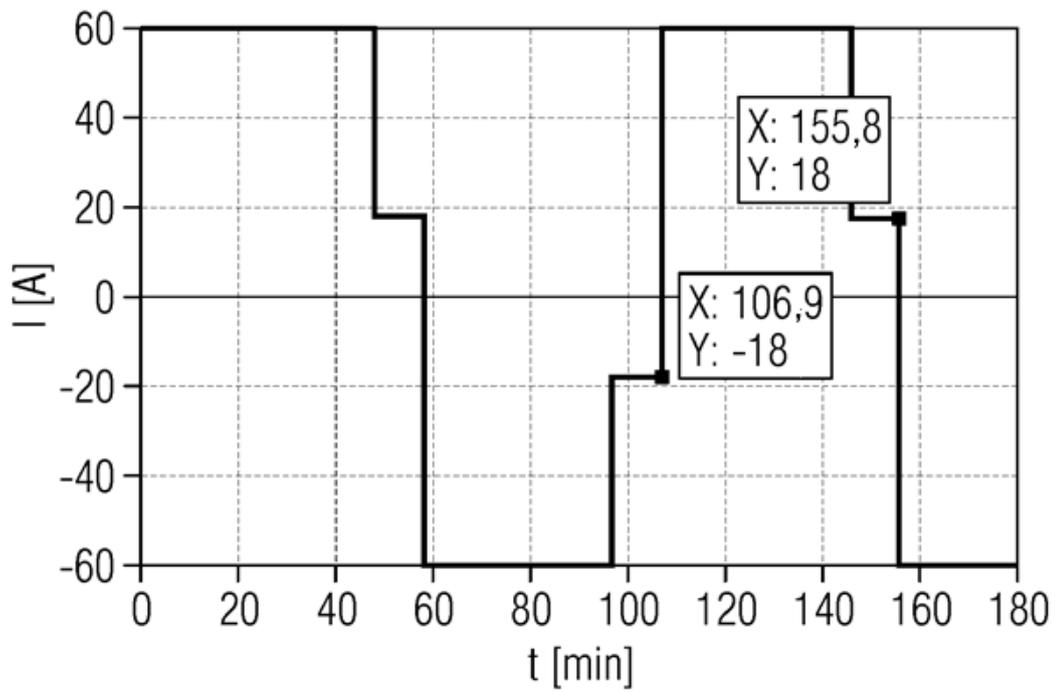


FIG 5

