



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 326 360**

(51) Int. Cl.:
G01R 31/36 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **01104989 .7**

(96) Fecha de presentación : **01.03.2001**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1150131**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **31.10.2001**

(54) Título: **Procedimiento para determinar el estado de carga y la capacidad de carga de un acumulador eléctrico.**

(30) Prioridad: **29.04.2000 DE 100 21 161**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.10.2009

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.10.2009

(73) Titular/es: **VB Autobatterie GmbH & Co. KGaA
Am Leineufer 51
30419 Hannover, DE**

(72) Inventor/es: **Laig-Hörstebroek, Helmut;
Meissner, Eberhard y
Richter, Gerolf**

(74) Agente: **Roeb Díaz-Álvarez, María**

ES 2 326 360 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para determinar el estado de carga y la capacidad de carga de un acumulador eléctrico.

5 La invención se refiere a un procedimiento para determinar la capacidad de carga de un acumulador eléctrico mediante la medición de la corriente, la tensión y la temperatura y la comparación de las tensiones medidas con las correspondientes tensiones calculadas con un modelo de esquema equivalente del acumulador, variándose los parámetros de los componentes del modelo de esquema equivalente o los estados de carga del acumulador de tal forma que se produzca la coincidencia con los valores medidos y a partir de los parámetros adaptados determinados de esta manera o el estado de carga adaptado se deduce la capacidad de carga.

10 Para el usuario de acumuladores es de gran importancia disponer de procedimientos suficientemente exactos para determinar la capacidad de carga y la disponibilidad de un acumulador para una aplicación determinada. Esta determinación es necesaria, por ejemplo, en caso de la propulsión eléctrica y la propulsión eléctrica híbrida de un automóvil, para la valoración de la capacidad de arranque de un motor de combustión interna, para la disponibilidad de la alimentación eléctrica para componentes como, por ejemplo, de los sistemas de frenado accionados o excitados eléctricamente, los sistemas de dirección y ayudas de dirección, sistemas de estabilización y otras funciones importantes, pero también para la excitación de componentes para el control y la regulación de componentes eléctricos, especialmente la conexión y la desconexión de carga y la regulación de tensión, así como para equipos de indicación que informan al explotador del vehículo sobre el estado de servicio.

Para la medición del estado de carga se conocen los procedimientos más diversos.

25 En muchos casos se usan equipos de medición (contadores eléctricos). En el caso de acumuladores en el rango de aplicación con carga y descarga completa con cargas intermedias poco frecuentes, estos procedimientos dan muy buenos éxitos. Pueden producirse errores por imprecisiones de medición y de cálculos, pérdidas de carga por parásitos en el acumulador, el envejecimiento del acumulador y cambios de las capacidades disponibles del acumulador en función de la intensidad de la corriente de carga o de descarga. Sin embargo, con la ayuda de este tipo de procedimientos integrados no es posible hacer afirmaciones fiables acerca de la potencia actual (producto de corriente por tensión) del acumulador, porque, por ejemplo, el cambio de la resistencia interior es una función de los ciclos completos o parciales precedentes en cuanto a la duración de tiempo y la intensidad de la corriente.

30 Los puntos débiles mencionados del método de balance de carga pueden superarse en gran medida mediante una formación de modelo matemática del acumulador. Los procedimientos con modelos matemáticos (ecuaciones descriptivas o esquemas equivalentes que pueden representarse matemáticamente), cuya evaluación en equipos informáticos electrónicos se produce al predefinir un registro de datos base típicos de la batería o datos de componentes del esquema equivalente, permiten la detección del estado de carga del acumulador que funciona de forma sincronizada paralelamente con el modelo. El único factor limitativo de estos métodos es la calidad del modelo que sirve de base, así como la calidad de los parámetros de entrada en cuanto a su coincidencia con el acumulador observado.

40 Como método de evaluación se ha acreditado especialmente el ajuste a cero, por técnica de regulación, de la tensión de salida calculada a través del modelo, con la tensión real del acumulador bajo las condiciones de la misma temperatura y el mismo caudal de corriente. Este tipo de evaluación permite también estimar los procesos de envejecimiento en el acumulador.

45 Los procedimientos de este tipo se describen, por ejemplo, en el documento EP471698B1 (=WO90/13823), según el cual las magnitudes de entrada del proceso (tensión, corriente, temperatura) del acumulador se miden y se procesan en un ordenador, y según el principio de la medición indirecta, un modelo predefinible en forma de funciones de varios parámetros, que representa el estado de carga y las magnitudes físicas que se han de determinar y las relaciones físicas entre éstas, se compara con las magnitudes de entrada de proceso medidas y, en caso de diferencias, se adaptan los parámetros de modelo para la medición subsiguiente. Para determinar el estado de carga, por ejemplo, se utiliza una descripción poliparamétrica en forma de un modelo.

55 En este documento no se hallan datos detallados acerca de la configuración real del modelo de esquema equivalente.

En el documento "Ladezustandsschätzung von Bleibatterien mit Hilfe des Kalman-Filters" (Estimación del estado de carga de baterías de plomo con la ayuda del filtro Kalman) de P. Lürkens y W. Steffens (archivo ETZ, tomo 8 (1986) fascículo 7, páginas 231-236) figura un procedimiento para determinar el estado de carga, en el que se aplica el método de la estimación del estado con la ayuda del Filtro Kalman. En este documento se indica también un esquema equivalente apropiado para un acumulador de plomo.

60 En el documento JP04095788A se describe el uso de una impedancia de Warburg para un circuito equivalente, que se utiliza para valorar el estado de un acumulador eléctrico.

65 La invención tiene el objetivo de proporcionar un procedimiento para determinar el estado de carga de un acumulador que detecta un gran intercambio de carga en relación con la capacidad, las pausas de reposo y las fases de standby, así como el envejecimiento, y que comprende una simulación de esquema equivalente que puede usarse especialmente en el automóvil donde se prohíbe el uso de grandes ordenadores.

Según la invención, en el procedimiento mencionado al principio, este objetivo se consigue mediante las propiedades caracterizadoras de la reivindicación 1. En las reivindicaciones subordinadas se indican otras variantes ventajosas del procedimiento.

En el modelo de esquema equivalente que se usa en el procedimiento según la invención se describen los procesos de difusión por impedancias de Warburg. En todos los sistemas tienen un papel muy importante las inhibiciones de difusión. Esto se refiere tanto a la difusión de componentes en el electrolito como a los procesos de difusión en los materiales activos. Estos mecanismos son de importancia decisiva también en el acumulador de plomo, en concreto, la difusión de ácido y la difusión de protones en el material activo PbO_2 positivo.

Por lo tanto, los miembros de difusión se representan en el esquema equivalente eléctrico como conexiones en serie de resistencias y capacidades. Una impedancia de Warburg de n resistencias y condensadores constituye una división física del espacio en el que se desarrolla el proceso de difusión, en n capas. Las resistencias representan la inhibición del proceso de difusión entre capas contiguas, mientras los condensadores describen la capacidad de acumulación de cada capa. El número n de las capas se especifica sopesando la precisión necesaria, por una parte, y la sencillez del tratamiento matemático, por otra parte.

El modelo de esquema equivalente empleado contiene en concreto los siguientes componentes:

- Resistencia interior R_i ,
- una impedancia de Warburg W_e para la difusión de ácido en el acumulador, y
- una conexión en paralelo de una impedancia de Warburg W_p para procesos de difusión en las masas activas y un elemento D con una curva característica similar a un diodo, que contiene las dependencias cinéticas del acumulador,
- dado el caso, una fuente de tensión constante U_o .

Los componentes W_p y D están conectados en paralelo entre ellos y esta conexión en paralelo está conectada en serie con los componentes U_o , R_i y W_e .

La fuente de tensión constante U_o tiene en cuenta también la dependencia de la tensión no cargada del acumulador de la concentración electrolítica actual.

La impedancia de Warburg W_p para procesos de difusión contiene resistencias dependientes del sentido de corriente y de la tensión y el elemento D posee una curva característica similar a un diodo con sentido de paso en caso de corrientes en el sentido de descarga del acumulador.

Las impedancias de Warburg W_e y W_p son componentes que comprenden al menos una conexión en paralelo de un primer condensador con una conexión en serie formada por una resistencia y otro condensador. A este y a cada condensador adicional puede estar conectada en paralelo respectivamente otra conexión en serie formada por una resistencia y otro condensador. El número de estas conexiones en serie se elige en función de la precisión deseada.

La tensión media U_{we} en los condensadores de la impedancia de Warburg W_e para la difusión de ácido se elige como medida para el estado de carga SOC (State of Charge) del acumulador, comprendiendo el estado de carga SOC el intervalo de valores de 0 (para el acumulador completamente descargado) a 1 (para el acumulador completamente cargado). Para el estado de carga SOC de un elemento de acumulador electroquímica individual es aplicable aproximadamente

$$\text{SOC} = U_{we} / 0,2$$

Preferentemente, al mismo tiempo se miden continuamente la tensión U y la temperatura T del acumulador, así como la corriente I que circula por éste. Entonces, partiendo del estado de carga conocido del acumulador, por la variación de los parámetros del modelo de esquema equivalente se produce una minimización de la diferencia entre la tensión U calculada y la que se ha medido (por ejemplo, según el método de mínimos cuadrados) y se determina un juego óptimo de parámetros del modelo de esquema equivalente.

En caso de un estado de carga desconocido y parámetros conocidos del esquema equivalente, partiendo de un estado de carga estimado del acumulador y variando el estado de carga en varios pasos, la respuesta de tensión del esquema equivalente se calcula y se compara con la que se ha medido hasta que coincidan las tensiones calculadas y las estimadas.

A partir de los valores del estado de carga y los parámetros del modelo de esquema equivalente, obtenidos de esta forma, se deduce la capacidad de carga del acumulador, y estos valores se indican y/o a partir de estos valores se deducen consecuencias para el funcionamiento del acumulador y/o del sistema conectado al acumulador. En lo

ES 2 326 360 T3

sucesivo, el procedimiento según la invención se describe detalladamente con la ayuda de figuras. Cuando en estos ejemplos se indican valores numéricos concretos, éstos se refieren a un acumulador de plomo de 6 elementos con una capacidad de 60 Ah.

La figura 1 muestra esquemáticamente un esquema equivalente según la invención, la figura 2 muestra la estructura de una impedancia de Warburg, la figura 3 muestra un esquema equivalente para los elementos de resistencia en la impedancia de Warburg, las figuras 4 y 5 muestran curvas características especiales de componentes empleados en el esquema equivalente y las figuras 6 y 7 muestran una comparación entre valores medidos en el acumulador del ejemplo y los valores obtenidos a partir de la simulación del esquema equivalente.

El modelo de esquema equivalente según la invención está representado en la figura 1. A grandes rasgos, está compuesto por una resistencia óhmica R_i , por una conexión en paralelo de una impedancia de Warburg W_p (figura 2) que describe los procesos de difusión, y por un elemento de conexión D con un comportamiento aproximadamente similar a un diodo, que describe una gran parte de las inhibiciones cinéticas de carga, descarga y gaseado del acumulador, así como por una segunda impedancia de Warburg W_e que describe la difusión de ácido.

Además de los componentes puramente óhmicos del acumulador, como las resistencias de escape y la resistencia electrolítica en la separación, la resistencia R_i contiene también partes de resistencia de las reacciones electroquímicas de electrodos.

Los procesos de difusión están descritos por las impedancias de Warburg W_p y W_e . La estructura de éstas resulta de la división del espacio de "difusión" en n capas discretas de cierto grosor y se calculan los balances cuantitativos. La modificación de la tensión en una capa durante un intervalo de tiempo se calcula a partir del grosor de la capa y del grosor de las capas contiguas a ésta, las tensiones en éstas, y las resistencias entre las capas, así como las capacidades de las capas.

El acumulador de plomo se polariza fuertemente durante la carga, mientras que durante la descarga muestra una polarización escasa, incluso por encima de la tensión de reposo. La invención lo tiene en cuenta de tal forma que las resistencias (de difusión) R de la impedancia de Warburg W_p se eligen de forma variable según el sentido de la corriente. En la figura 3 está representado un esquema equivalente de estas resistencias R_k , con la resistencia R_{k-I} (carga) y la resistencia R_{k-e} (descarga) y con el diodo de desacoplamiento D_1 correspondiente. Este comportamiento durante la carga o descarga es asimétrico, de forma similar al de un diodo.

La resistencia de difusión que es variable según el sentido de la corriente está descrita por una función, cuyo desarrollo está representado para una batería de arranque de 6 elementos con una capacidad de 60 Ah en la figura 4.

En caso de carga, $R = R_p$. En caso de descarga, en cambio, R depende de la tensión. Para valores de tensión negativos, la resistencia de difusión R se vuelve muy pequeña, por lo que la impedancia de Warburg W_p se convierte prácticamente en capacidad pura.

Se tienen en cuenta también procesos cinéticos como la cinética de descarga y la cinética de carga del paso y las reacciones de gaseado parasitarios. Están reconstruidos en el elemento D , ya que las cinéticas de carga y de descarga tienen una similitud aproximada a una curva característica de un diodo.

Las distintas dependencias se indican a modo de ejemplo en las siguientes ecuaciones. Los signos de fórmula empleados corresponden a las siguientes magnitudes:

v = tensión encima del diodo

v_{gr} = "tensión límite" del diodo en caso de descarga

U_{we} = tensión media de la impedancia de Warburg para difusión de ácido, medida del estado de carga.

El comportamiento de corriente-tensión del elemento D para tensiones $v > 0$ en el elemento D , es decir, para corrientes en el sentido de bloqueo, se reconstruye mediante una relación similar a una ley de potencia, preferentemente de la dependencia aproximada

$$I - \text{Diod} := a v^b + I_g * \exp(v/U_g)$$

siendo a un parámetro de la dimensión corriente-tensión^b y eligiéndose la constante b sin dimensiones de tal forma que es aplicable $b > 1,5$ y, preferentemente, $b \sim 2$. I_g y U_g son parámetros que describen el gaseado. El parámetro I_g es de la dimensión corriente y el parámetro U_g es de la dimensión tensión y ambos parámetros se adaptan mediante variaciones, de tal forma que se produzcan coincidencias con los valores medidos. La figura 4 muestra en la zona de carga ("L") un desarrollo típico de la fórmula que figura arriba, para un acumulador de 60 Ah.

La siguiente función para el caso $v < 0$ describe un comportamiento que en caso de pequeñas sobretensiones v aún inhibe fuertemente la descarga, pero a medida que aumenta el valor de la sobretensión v hace que la corriente del

ES 2 326 360 T3

diodo crezca al cuadrado, la sigue incrementando en el intervalo de la tensión límite v_{gr} por una aportación hiperbólica (fórmula parcial (A)), pero después, por razones numéricas, se convierte constantemente en una parábola pura (B).

(A) si $(v < 0)$ y $(v^2 \leq 0,99/v_{gr}^2)$

entonces $I_{Diod} = -d * v^2 / (v_{gr}^2 - v^2)$

(B) si $(v < 0)$ y $(v^2 > 0,99 * v_{gr}^2)$

entonces $I_{Diod} = -d * (99 + 0,0001/v_{gr}^2)$ con una curva característica similar a un diodo $(v^2 - 0,99 * v_{gr}^2)$.

El parámetro d es el parámetro adaptado que describe al diodo y se adapta igual que el parámetro de la tensión umbral.

Una curva característica de este tipo está representada en la figura 4 para el ejemplo del acumulador de plomo mencionado anteriormente. La figura muestra en la zona de descarga ("E") el desarrollo típico de la corriente de diodo I_{Diod} en función de la tensión v en el diodo.

Alternativamente, se ha acreditado también una fórmula de la forma aproximada

$$I_{Diod} = I_0 * \sinh(v/v_{gr})$$

teniendo el parámetro I_0 la dimensión de una corriente y teniendo el parámetro de la tensión umbral v_{gr} la dimensión de una tensión y adaptándose ambos parámetros.

La tensión media U_{we} a la impedancia de Warburg W_e para la difusión de ácido es una medida del estado de carga SOC.

La cantidad de carga $kap := \int i * dt$, que fluye con la corriente i , modifica la tensión media U_{we} en la impedancia de Warburg W_e con la capacidad c , partiendo de su valor inicial $Start_U_{we}$ según

$$U_{we} = Start_U_{we} + kap/C.$$

Por lo tanto, en caso de un acumulador de plomo de 6 elementos, para el estado de carga SOC es válido

$$SOC = U_{we}/1.2$$

En caso de estados de carga SOC bajos resulta una reducción crecientemente fuerte de la tensión bajo la carga dada que en caso de mayores estados de carga, hasta que la tensión se cae en caso de estados de carga muy bajos. Se ha mostrado que las diferencias al final de la descarga pueden describirse aproximadamente mediante una resistencia que aumenta fuertemente con el grado de descarga.

Las resistencias de la impedancia de Warburg W_p para procesos de difusión dependen del sentido de la corriente. Los valores de resistencia de las resistencias R_k conectadas en la impedancia de Warburg W_p se reproducen mediante un esquema equivalente según la figura 3, compuesta por una resistencia R_{k-I} conectada en paralelo a una conexión en serie de una resistencia R_{k-e} con un diodo ideal $D1$ en el sentido de descarga.

Preferentemente, los valores de las resistencias R_{k-I} se eligen iguales para todas las resistencias R . Los valores de las resistencias R_{k-e} dependen de las tensiones U en los condensadores C contiguos, especialmente del valor medio de las tensiones U , siendo esta dependencia la misma para todas las resistencias R_{k-e} .

R_{k-e} se elige para tensiones positivas U elevadas, preferentemente con la misma magnitud que R_{k-I} . R_{k-e} se elige para tensiones bajas U , preferentemente, en una magnitud menor que R_{k-I} . Como transición entre estos valores extremos se elige preferentemente una función constante y monótona. Un desarrollo típico acreditado está representado en la figura 5. Aquí, R se refiere a un valor máximo R_p que al mismo tiempo es uno de los parámetros de adaptación.

Para describir la dependencia de la temperatura de los parámetros y/o las constantes se elige una relación funcional que a su vez contiene parámetros y constantes, optimizando estos parámetros y constantes P de forma iterativa, teniendo la dependencia funcional de la temperatura preferentemente la forma

$$P = P_0 * \exp(-T_0/T)$$

La magnitud P_0 tiene la misma dimensión que el parámetro P , y la temperatura de referencia T_0 tiene la dimensión de una temperatura.

ES 2 326 360 T3

La calidad de la reproducción del comportamiento del acumulador mediante el modelo de esquema equivalente según la invención resulta de las figuras 6 y 7.

Las figuras muestran un ejemplo para la aplicación del modelo de esquema equivalente en una batería de arranque de plomo con una capacidad nominal de 60 Ah. En la figura 6, el acumulador está a una temperatura de 25°C, y en la figura 7 está a una temperatura de -10°C.

Las líneas continuas representan la corriente I impuesta y el desarrollo de tensión U_m medido de la batería. Los puntos no rellenos constituyen la respuesta de tensión U_s del modelo de esquema equivalente adaptado.

El procedimiento según la invención permite predecir situaciones de carga críticas. El modelo de esquema equivalente empleado refleja el comportamiento del acumulador y se requiere poco espacio de memoria de ordenador para reproducir el comportamiento de carga y de descarga de un acumulador.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la capacidad de carga de un acumulador eléctrico mediante la medición de la corriente, la tensión y la temperatura y la comparación de las tensiones medidas con las correspondientes tensiones calculadas con un modelo de esquema equivalente del acumulador, variándose los parámetros de los componentes del modelo de esquema equivalente o los estados de carga del acumulador de tal forma que se produzca la coincidencia con los valores medidos y a partir de los parámetros adaptados determinados de esta manera o el estado de carga adaptado se deduce la capacidad de carga, **caracterizado** porque el modelo de esquema equivalente del acumulador contiene una conexión en serie de una resistencia interior R_i , de una conexión en paralelo de una impedancia de Warburg (W_p) para procesos de difusión en las masas activas del acumulador y de un elemento (D) que contiene las dependencias cinéticas del acumulador, con una curva característica similar a un diodo y una impedancia de Warburg (W_e) para la difusión de ácido en el acumulador, conteniendo la impedancia de Warburg (W_p) resistencias dependientes del sentido de corriente y de la tensión, y estando conectado el elemento (D) en el sentido de paso en caso de corrientes en el sentido de descarga del acumulador, y conteniendo las impedancias de Warburg (W_e) y (W_p) respectivamente un primer condensador C de esta al menos una conexión en serie y al menos una conexión en serie de una resistencia (R_i) y de otro condensador (C), estando conectada una primera conexión en serie de esta al menos una conexión en serie paralelamente con respecto al primer condensador (C) y estando conectada cada conexión en serie adicional de esta al menos una conexión en serie paralelamente con respecto a un condensador (C_i) adicional de una conexión en serie asignada en exclusiva de esta al menos una conexión en serie, y porque de la tensión media (U_{we}) en el condensador de la impedancia de Warburg (W_e) para la difusión de ácido se deduce una medida para el estado de carga (SOC) del acumulador y, de esta manera, a partir de los valores obtenidos del estado de carga y de los parámetros del modelo de esquema equivalente se deduce la capacidad de carga del acumulador, y porque estos valores se indican, y/o porque a partir de estos valores se deducen consecuencias para el funcionamiento del acumulador y/o del sistema conectado al acumulador.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque partiendo de un estado de carga conocido del acumulador, mediante la variación de los parámetros del modelo de esquema equivalente se realiza una minimización de la diferencia entre la tensión U calculada y medida del acumulador, especialmente según el método de mínimos cuadrados y se determina un juego óptimo de parámetros del modelo de esquema equivalente, y porque a partir de los valores de parámetros del modelo de esquema equivalente, obtenidos de esta manera, se deduce la capacidad de carga del acumulador, y/o porque se indican los valores y/o porque a partir de estos valores se deducen consecuencias para el funcionamiento del acumulador y/o del sistema conectado al acumulador.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque en caso de un estado de carga desconocido y parámetros conocidos del modelo de esquema equivalente, partiendo de un estado de carga estimado del acumulador y variando el estado de carga en varios pasos, la respuesta de tensión del modelo de esquema equivalente se calcula y se compara con la que se ha medido, hasta que coincidan las tensiones calculadas y las estimadas, y porque a partir del valor del estado de carga obtenido de esta forma se deduce la capacidad de carga del acumulador, y porque se indican los valores y/o porque a partir de estos valores se deducen consecuencias para el funcionamiento del acumulador y/o del sistema conectado al acumulador.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 3, **caracterizado** porque el comportamiento de corriente-tensión del elemento con una curva característica (D) similar a un diodo para tensiones $v > 0$ en el elemento con una curva característica (D) similar a un diodo, es decir, para corrientes en el sentido de bloqueo, corresponde a la función

$$I - \text{Diod} := a v^b + I_g * \exp(v/U_g)$$

eligiendo la constante b exenta de dimensión de tal forma que $b > 1,5$, preferentemente $b \sim 2$, y siendo I_g un parámetro de la dimensión de la corriente, que describe el gaseado del acumulador, siendo U_g un parámetro de la dimensión de la tensión, que describe el gaseado del acumulador, y siendo a un parámetro de la dimensión corriente/tensión^b, siendo los parámetros I_g , U_g y a parámetros adaptados.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque el comportamiento de corriente-tensión del elemento con una curva característica (D) similar a un diodo para tensiones $v < 0$ en el elemento con una curva característica (D) similar a un diodo, es decir, para corrientes en el sentido de paso, corresponde a la función

(A) si ($v < 0$) y ($v^2 \leq 0,99$ con una curva característica v_{gr}^2 similar a un diodo)

$$\text{entonces } I_{\text{Diod}} := -d * v^2 / (v_{gr}^2 - v^2)$$

(B) si ($v < 0$) y ($v^2 > 0,99 * v_{gr}^2$)

$$\text{entonces } I_{\text{Diod}} := -d * (99 + (0.0001/v_{gr}^2) * (v^2 - 0,99 * v_{gr}^2))$$

siendo v_{gr} una tensión umbral, y siendo d y v_{gr} parámetros adaptados y siendo d de la dimensión tiempo⁻¹.

ES 2 326 360 T3

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el comportamiento de corriente-tensión del elemento con una curva característica (D) similar a un diodo para tensiones $v < 0$ en el elemento con una curva característica (D) similar a un diodo, es decir, para corrientes en el sentido de paso, corresponde a la función

$$I_{\text{Diod}} = I_0 * \sinh (v/v_{gr})$$

siendo I_0 un parámetro de la dimensión de corriente y v_{gr} una tensión umbral, siendo I_0 y v_{gr} parámetros adaptados.

7. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el parámetro a para tensiones v en el elemento con una curva característica (D) similar a un diodo, con $v > 0$, es decir para corrientes en el sentido de bloqueo, depende del estado de carga SOC y se determina, preferentemente, según la fórmula

$$a = (1 - SOC)^c * a_0$$

variando el estado de carga SOC entre un valor 1 en el estado completamente cargado del acumulador y un valor 0 en el estado completamente descargado, eligiéndose el exponente c exento de dimensión aproximadamente dentro del intervalo de valores $0,5 < c < 2$, y siendo a_0 un parámetro adaptado de la dimensión corriente/tensión^b con la constante b exenta de dimensión.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque los valores de resistencia de las resistencias (C) conectadas en la impedancia de Warburg (W_p) se reproducen a su vez mediante un modelo de esquema equivalente que tiene una primera resistencia R_{k-l} paralela a una conexión en serie de una segunda resistencia (R_{k-e}) y un diodo ideal (D1) en el sentido de descarga, donde:

- (a) todas las primeras resistencias (R_{k-l}) de las resistencias (R) conectadas en la impedancia de Warburg (W_p) se eligen iguales,
- (b) las segundas resistencias (R_{k-e}) de las resistencias (R) conectadas en la impedancia de Warburg (W_p) dependen de las tensiones en los condensadores contiguos, especialmente de su valor medio, siendo esta dependencia igual para todas las resistencias (R_{k-e}),
- (c) las segundas resistencias (R_{k-e}) para altas tensiones positivas se eligen con la misma magnitud que las primeras resistencias (R_{k-l}),
- (d) las segundas resistencias (R_{k-e}) para bajas tensiones se eligen al menos una magnitud menor que las primeras resistencias (R_{k-l}),
- (e) como transición entre estos valores extremos se utiliza preferentemente una función constante y monótona.

Fig.1

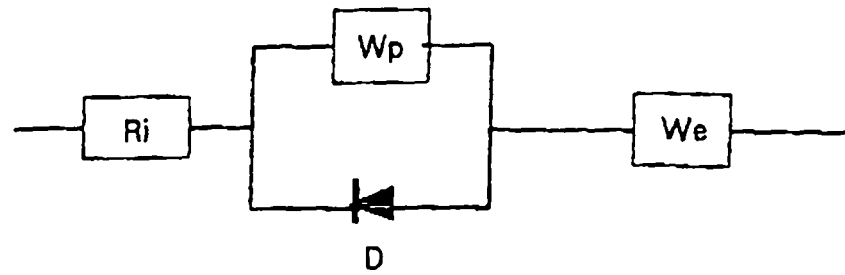


Fig.2

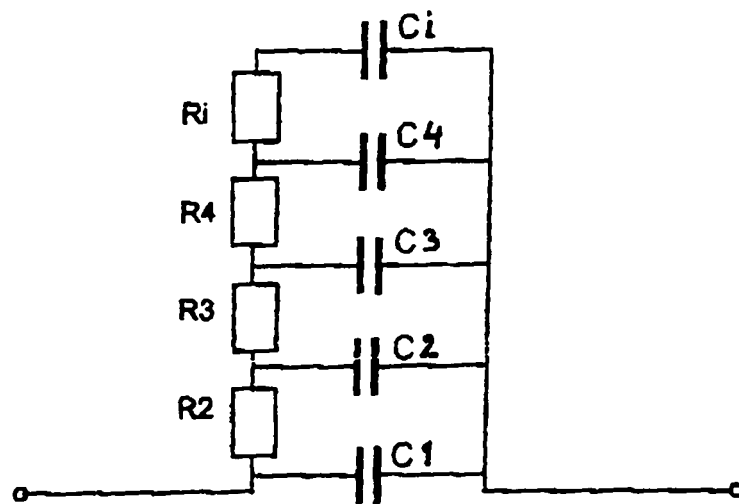


Fig.3

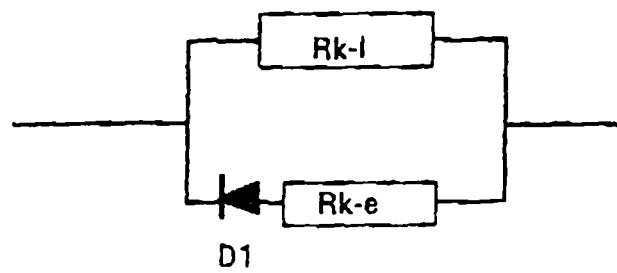


Fig.4

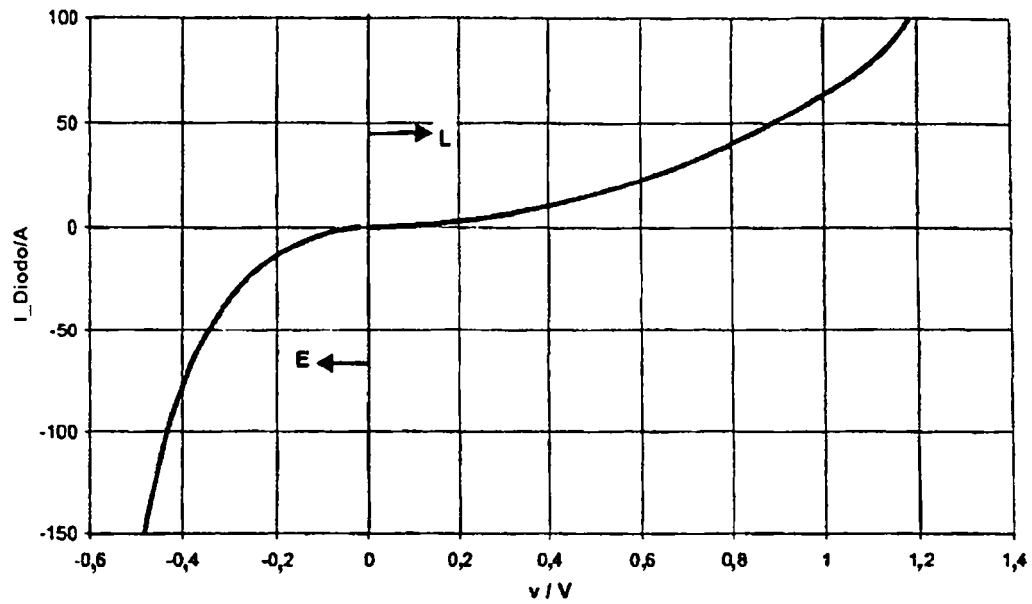


Fig.5

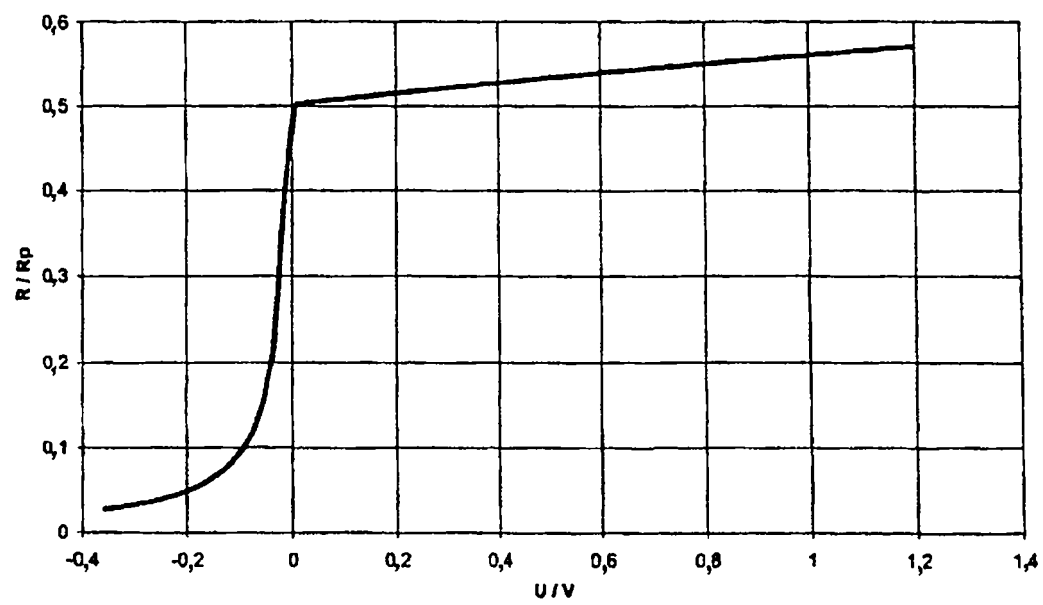


Fig.6

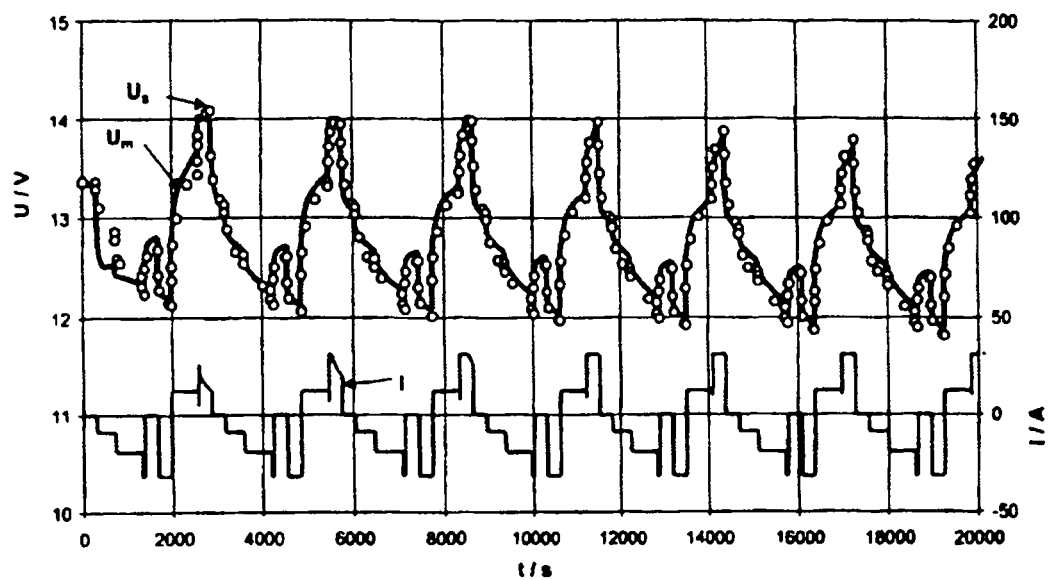


Fig.7

