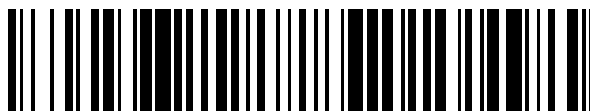


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 099**

51 Int. Cl.:

H02J 7/00 (2006.01)

G01R 31/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2015** **E 15201034 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018** **EP 3182552**

54 Título: **Sistema de gestión de baterías de litio-sulfuro**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
30.04.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HALE, CHRISTOPHER J

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 711 099 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 gestión de baterías de litio-sulfuro

Campo técnico

La presente invención se relaciona en general con un sistema de gestión de baterías de litio-azufre para determinar el estado de carga de una batería de litio-azufre.

Antecedentes de la invención

La capacidad de determinar de manera confiable la cantidad de carga restante de una batería para uso como fuente de energía en, por ejemplo, los bienes electrónicos portátiles y el transporte de vehículos eléctricos es altamente valorada por los fabricantes y consumidores por igual con el fin de calcular el tiempo de uso restante o distancia disponible para vehículos.

En el caso de los vehículos a gasolina, se puede medir simplemente el nivel de combustible, sin embargo, en vehículos eléctricos e híbridos y en dispositivos electrónicos, ya que la batería se utiliza como su fuente de energía, es más difícil medir la energía residual acumulada en la batería. El estado de carga (SOC) de una batería puede expresarse, por ejemplo, como un indicador de porcentaje de la cantidad de capacidad restante en una batería hasta que se necesite una recarga, en comparación con la capacidad total proporcionada por esa batería.

Suponiendo que SOC_0 es el porcentaje de SOC inicial en el tiempo t_0 , el porcentaje de SOC de la batería en el tiempo t se define como:

$$SOC = SOC_0 + 100 * \int_{t_0}^t \frac{I(t)}{Q_t} dt$$

donde I es la corriente, que se define como negativa para la descarga y positiva para la carga, y Q_t es la capacidad máxima de la batería en Ah.

Se puede configurar el SOC_0 inicial donde se considera que la batería está completamente cargada con referencia al voltaje máximo de circuito abierto (OCV) antes de descargar la batería, opcionalmente con referencia a las mediciones de resistencia y temperatura para mejorar la precisión.

Los métodos comunes para medir el SOC de baterías de diferentes químicas se basan en mediciones de voltaje, donde típicamente el voltaje de una batería caerá en relación con su capacidad restante. Sin embargo, el voltaje de una batería de litio-azufre no disminuye linealmente cuando se descarga la batería, y típicamente se mantiene constante para grandes proporciones de la característica de descarga, lo que significa que el uso de voltaje no es adecuado para determinar el SOC de baterías de litio-azufre.

Otro método conocido para determinar el SOC de la batería es realizar un conteo de coulomb desde el momento en que la batería comienza a descargarse, de modo que se cuenta que la salida de carga de la batería y se puede calcular la carga restante dentro de la batería. Con cualquier batería, el conteo de coulomb solo es práctico si se conoce un valor de capacidad inicial antes del inicio de cualquier descarga, y si no se utiliza ningún otro método de estimación de capacidad, entonces el conteo de coulomb solo se puede implementar prácticamente cuando la batería comienza desde el 100% de SOC. En la práctica, una batería puede no iniciar su descarga desde un estado de carga completa, ya sea porque ha sido sujeta a una descarga parcial, no se ha cargado completamente o está sujeta a una autodescarga y, por lo tanto, requiere un método adicional para determinar el inicio de la capacidad de descarga.

Una característica de las baterías de litio-azufre que se ha investigado como medio de determinación de SOC es una relación medible entre la resistencia interna de una batería y su SOC, como se identificó en solicitudes de patente anteriores, como la solicitud US 2009/0055110 (Sion Power). Típicamente, se realiza la determinación de la resistencia de la batería mediante la aplicación de una corriente conocida ya sea en la carga o la descarga, el control del cambio de voltaje y la aplicación de algoritmos específicos para predecir el SOC de la batería.

En la práctica, la determinación de la resistencia de la batería a través de la aplicación de una fuente de corriente no es tan sencilla, como se identifica en la Solicitud de Patente Europea No. 1506497.5 (OXIS Energy et al), ya que hay otros factores relacionados con la duración de un pulso de corriente aplicada y respuesta de la batería, utilizada para determinar la resistencia. Estos factores se basan típicamente en las características de una batería de litio-azufre bajo esfuerzo (o carga). Un intento de abordar los problemas de las características de una batería de litio-azufre mientras se encuentra bajo carga se abordó en la Solicitud de Patente Europea mencionada anteriormente No. 1506497.5 (OXIS Energy et al) utilizando un proceso de Minimización de Errores de Predicción y una estimación de SOC del Sistema de Inferencia Neuro-difuso Adaptativo, reivindicando un error promedio potencial en la determinación de capacidad del 5% y error máximo del 14%. Sin embargo, la implementación de esta técnica requiere algoritmos bastante sofisticados y una capacidad de procesamiento adecuada para manejar el número de cálculos necesarios.

El documento US 2010/121591 se relaciona con un método y aparato para estimar el estado de carga de una batería. El método puede incluir la generación de una o más curvas que expresan la relación a priori entre un primer parámetro y un estado de carga (SOC) de una batería sobre una región de interés, tomando un derivado de la una o más curvas generadas con respecto al estado de carga para generar un parámetro derivado con el SOC de la batería sobre la región de interés, transformando una combinación de una o más curvas generadas en una o más curvas suplementarias que expresan la relación a priori entre un segundo parámetro con uno o más de corriente (I_p) de polarización (I) y voltaje de circuito abierto (OCV), la pendiente de voltaje con respecto a SOC ($dOCV/dSOC$), y cualquier combinación de (I , I_p , OCV y $dOCV/dSOC$); medir un voltaje y una corriente de la batería durante un período de tiempo para crear un conjunto de datos de voltaje y corriente, procesar el conjunto de datos de voltaje y corriente para crear un conjunto de datos procesados, combinar una o más curvas generadas con los datos procesados para generar datos procesados en función de SOC, hacer regresión de la función de datos de proceso en múltiples SOC sobre la región de interés con respecto a una ecuación que es representativa de la batería para obtener valores para parámetros no asociados con SOC y generar una curva que evalúe cada SOC respecto a la exactitud y la probabilidad de posibilidad de ajuste, seleccionar el SOC que minimiza tanto el error como la posibilidad de ocurrencia, y emitir el SOC seleccionado para mostrarlo al usuario en una interfaz de usuario. Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar un sistema mejorado para determinar el SOC de una batería de litio-azufre.

Resumen de la invención

De acuerdo con diversas realizaciones de la invención, se proporciona un sistema de gestión de batería de litio-azufre para determinar el estado de carga de una batería de litio-azufre, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones adjuntas 1 a 14. El sistema de gestión comprende un primer circuito que tiene al menos un elemento reactivo, y el primer circuito está configurado para descargar y cargar cantidades fijas de carga desde y hacia la batería a través del al menos un elemento reactivo. El sistema de gestión también comprende un segundo circuito para controlar la descarga y carga, y el segundo circuito está configurado para medir el tiempo de descarga y el tiempo de carga de las cantidades fijas de carga, y determinar el estado de carga con base de esos tiempos.

Dado que la carga fija se aplica a la batería y desde ella a través del al menos un elemento reactivo, el tiempo para descargar/cargar la batería mediante una cantidad fija de carga es una función de la resistencia interna de la batería, ya que la rata de descarga/carga a través de al menos un elemento reactivo será moderada por la resistencia interna. Como se señaló más arriba, existe una relación entre el SOC y la resistencia interna. Por lo tanto, también existe una relación entre el SOC y los tiempos de descarga/carga, lo que permite determinar el SOC a partir de los tiempos de descarga/carga.

La resistencia interna de una batería de litio y azufre con respecto a una corriente de carga para un SOC dado, diferirá de su resistencia interna con respecto a una corriente de descarga en el mismo SOC. Además, la resistencia interna bajo carga no siempre proporciona un SOC preciso para todos los SOC, y la resistencia interna bajo descarga no siempre proporciona un SOC preciso para todos los SOC, sin embargo, la combinación de la resistencia interna al descargar (a través de la descarga y la resistencia interna durante la carga (a través del tiempo de carga) permite determinar un SOC preciso para todos los SOC. Esto se trata con más detalle más adelante con referencia a las características de descarga y carga que se muestran en la Fig. 1.

Preferiblemente, las cantidades fijas de carga comprenden una primera cantidad fija de carga que se descarga desde la batería durante el tiempo de descarga, y una segunda cantidad fija de carga que se carga en la batería durante el tiempo de carga, en la que la primera cantidad de carga y la segunda cantidad de carga fija son sustancialmente el mismo valor entre sí, de modo que la descarga y la carga no tienen un efecto general significativo sobre el estado de carga de la batería. Este proceso puede ser controlado automáticamente por la electrónica, sin ningún impacto general significativo en la capacidad de la batería, lo que aumenta la precisión de la estimación de la capacidad.

Ventajosamente, al menos un elemento reactivo puede comprender un condensador de almacenamiento, y el tamaño del condensador de almacenamiento puede fijar las cantidades fijas de carga que se descargan y cargan desde y hacia la batería. Por ejemplo, duplicar el tamaño del condensador puede duplicar la cantidad fija de carga, cuando todos los demás factores no cambian. La cantidad fija de carga puede ser menor que la cantidad máxima de carga que el condensador puede almacenar, por ejemplo, si el condensador está cargado y descargado entre el 90% y el 10% de su capacidad de carga. Preferiblemente, el condensador se carga y descarga entre menos del 98% y más del 2% de su capacidad respectivamente, para evitar tiempos de carga y descarga excesivamente largos. Como será evidente para los expertos en la técnica, si la batería se usó para cargar y descargar el condensador entre el 100% y el 0% de su capacidad a través de la resistencia interna de la batería, esto tomaría mucho tiempo debido a la naturaleza exponencial de las características de carga y descarga.

Ya que la constante de tiempo de carga de un condensador se basa en su capacitancia y una resistencia en serie en línea (constante de tiempo de RC), en este caso la capacitancia de almacenamiento en serie con la resistencia de batería interna, el tiempo para cargar la capacitancia de almacenamiento entre dos estados de carga, por ejemplo entre el 10% y el 90%, serán representativos de la resistencia interna.

Opcionalmente, el al menos un elemento reactivo puede comprender un inductor conectado al condensador de almacenamiento. Luego, se puede medir la corriente que fluye hacia y desde el condensador de almacenamiento a

través del inductor. La rata de cambio de esta corriente dependerá de la resistencia interna de la batería y, por lo tanto, se puede medir el tiempo de transición de la corriente entre dos valores diferentes para determinar la resistencia interna y, por lo tanto, SOC. Preferiblemente, una resistencia de detección de corriente está conectada en serie con el inductor, donde el voltaje desarrollado a través de la resistencia de detección de corriente corresponde a la corriente que fluye a través del inductor, de modo que se puede medir fácilmente la corriente.

Ventajosamente, el primer circuito puede comprender un convertidor elevador. Luego, el condensador de almacenamiento puede cargarse desde la batería mientras mide el tiempo de descarga, y luego, utilizando el convertidor elevador, la energía en el condensador puede descargarse nuevamente en la batería, mientras se mide el tiempo de carga. Por ejemplo, el primer circuito puede comprender una red de conmutación conectada al condensador de almacenamiento, la red de conmutación configurada para conmutar un primer terminal del condensador de almacenamiento entre potenciales de voltaje más bajos y más altos para realizar la descarga y carga de la batería a través de un segundo terminal del condensador de almacenamiento. Esta conmutación puede comprender conmutar un condensador del depósito fuera de y en serie con el condensador de almacenamiento para realizar la descarga y carga de la batería respectivamente. El tamaño del condensador del reservorio es preferiblemente mucho mayor que el tamaño del condensador de almacenamiento, por ejemplo, al menos 20 veces más grande, más preferiblemente 50 veces más grande, o 100 veces más grande.

Para ayudar a mejorar la precisión de las mediciones de tiempo y reducir la influencia de cualquier ruido en el sistema, el segundo circuito puede configurarse para cambiar repetidamente esta red de conmutación para descargar y cargar la batería durante un número repetido de veces, y para determinar el SOC con base en la suma de los tiempos de descarga y la suma de los tiempos de carga y, opcionalmente, una suma de los tiempos de descarga y carga. El número de repetición puede ser, por ejemplo, 10 veces, o incluso 100 veces. Una mejora adicional de la precisión de la estimación de la capacidad puede ser mediante el control continuo del SoC de la batería mientras no esté en uso y el uso de algoritmos y técnicas de promediar para rastrear el deterioro de la capacidad de la batería durante cualquier período de autodescarga.

El segundo circuito puede configurarse para determinar el SOC con base en una tabla de consulta que proporciona un valor de estado de carga para cada una de las múltiples combinaciones de tiempos de descarga y carga. Por lo tanto, es posible que el sistema de administración de la batería de azufre y litio no necesite realizar cálculos complejos con el fin de determinar el SOC, sino que simplemente puede buscar el SOC correcto en la tabla de consulta con base en los tiempos de descarga y carga. Preferiblemente, la tabla de consulta puede modificarse para tener en cuenta la temperatura de la batería, y por lo que el sistema de gestión de la batería de azufre y litio puede comprender además un tercer circuito configurado para detectar la temperatura de la batería. La tabla de consulta también puede modificarse para tener en cuenta el envejecimiento de la batería, que se puede rastrear como se describe en el párrafo anterior.

De forma ventajosa, el segundo circuito puede configurarse para determinar el estado de la batería con base en la suma de los tiempos de descarga y carga. El estado puede determinarse comparando los tiempos de descarga y carga con los valores nominales de búsqueda de referencia, así como con un registro de los tiempos anteriores de descarga/carga Vs SOC guardados en la memoria.

Dado que los tiempos de descarga y carga son directamente proporcionales a la resistencia de la batería con respecto a la corriente de descarga y carga para una capacitancia fija, se pueden comparar los tiempos de descarga, una suma de los tiempos de carga, y una suma de los tiempos de descarga y carga con una tabla de consulta para determinar el SOC. Claramente, en lugar de modificar la tabla de consulta de acuerdo con la temperatura y el envejecimiento de la batería, la tabla de consulta puede permanecer igual y se pueden modificar las sumas de los tiempos de carga y descarga de acuerdo con la temperatura y el envejecimiento de la batería antes de compararlos con la tabla de consulta. Los efectos de temperatura y el envejecimiento de la batería sobre las baterías de azufre y litio son bien conocidos en la técnica y, por lo tanto, no se describen en detalle aquí.

Alternativamente, el SOC se puede calcular con base en fórmulas predeterminadas que especifican relaciones entre el SOC y los tiempos de descarga y carga, en lugar de usar una tabla de consulta.

El segundo circuito puede configurarse para controlar una diferencia de voltaje entre dos puntos del primer circuito, determinar que la descarga o carga esté suficientemente completa cuando la diferencia de voltaje caiga por debajo de un nivel predeterminado, y en respuesta, cambie el primer circuito de descarga a carga, o carga a descarga, respectivamente. Por ejemplo, el segundo circuito puede determinar que la descarga está completa cuando el voltaje a través del resistor de detección de corriente conectado en serie con el inductor cae por debajo de un nivel predeterminado, o puede determinar que la carga se completa cuando el voltaje a través del condensador de almacenamiento cae por debajo de un nivel predeterminado, dependiendo de si los dos puntos están a través de la resistencia de detección de corriente o el condensador de almacenamiento. A la inversa, el segundo circuito puede determinar que se completa la descarga cuando el voltaje a través del condensador de almacenamiento aumenta por encima de un nivel predeterminado, o puede determinar que la carga se completa cuando se eleva el voltaje a través de la resistencia de detección de corriente conectada en serie con el inductor por encima de un nivel predeterminado, anotando que el voltaje aumentará hacia cero desde un valor negativo dado que la corriente fluye a través de la resistencia de detección de corriente en la dirección opuesta cuando se está cargando en comparación con la

descarga. Claramente, el amplificador de diferencia se puede conectar a través de otros dos puntos del primer circuito en lugar de a través del condensador de almacenamiento o a través de una resistencia de detección de corriente, siempre que los dos puntos muestren una variación de diferencia de voltaje correspondiente a una constante de tiempo del al menos un elemento reactivo.

- 5 De manera ventajosa, se puede conectar una salida del amplificador diferencial a un terminal de control de la red de conmutación, para alternar entre la descarga y la carga de la batería con base en la salida del amplificador diferencial. Esto proporciona retroalimentación análoga y, por lo tanto, rápida a la red de conmutación, de modo que el cambio entre la descarga y la carga se ejecuta sin demora.

- 10 Se proporciona además un método para determinar el SOC de una batería de litio y azufre, de acuerdo con la reivindicación 15 adjunta. El método comprende medir una primera vez para descargar la batería de litio y azufre mediante una primera cantidad fija de carga, a través de un primer elemento reactivo; medir una segunda vez para cargar la batería de litio y azufre mediante una segunda cantidad fija de carga, a través de un segundo elemento reactivo; y determinar el estado de carga con base en el primer y segundo momento. El primer elemento reactivo es opcionalmente un mismo elemento reactivo como el segundo elemento reactivo, y la primera carga fija es
- 15 opcionalmente la misma cantidad de carga que la segunda carga fija. Opcionalmente, la segunda vez puede tener lugar antes de la primera vez.

- Esta divulgación se refiere a descargar y cargar la batería, aunque esto no implica ningún requisito para que la descarga tenga lugar antes de la carga, y la carga puede tener lugar antes de la descarga, si se desea. Por convención, se considera que la carga fluye desde un potencial de voltaje relativamente más alto a un potencial de voltaje
- 20 relativamente más bajo.

Descripción detallada

Las realizaciones de la invención se describirán ahora solo a modo de ejemplo no limitativo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 25 La Fig. 1 muestra un gráfico de las características de resistencia interna de la batería durante la carga y descarga de una batería típica de azufre y litio;

La Fig.2 muestra un diagrama esquemático de un sistema de gestión de batería de acuerdo con una primera realización de la invención;

La Fig.3 muestra un diagrama de cronometrado de los niveles de carga sostenidos por un condensador del sistema de la Fig. 2 durante la carga y descarga de la batería.

- 30 La Fig.4 muestra un diagrama esquemático más detallado de un sistema de gestión de batería de acuerdo con una segunda realización de la invención;

La Fig. 5 muestra un gráfico de la resistencia de batería mientras se carga una batería típica de azufre y litio, a varias temperaturas;

- 35 La Fig. 6 muestra un gráfico de la resistencia de batería mientras se descarga una batería típica de azufre y litio, a varias temperaturas; y

La Fig.7 muestra un diagrama esquemático de un sistema de gestión de batería de acuerdo con una tercera realización de la invención.

Las figuras no están a escala, y los signos de referencia iguales o similares indican características iguales o similares.

- 40 Con referencia a la Fig. 1, se muestra un gráfico de la resistencia interna de batería contra SOC, que muestra cómo la resistencia interna de una batería típica de azufre y litio generalmente disminuye a medida que su SOC aumenta de 0 (0% cargado) a 1.0 (100% cargado). El gráfico incluye una curva 4 de resultados de medición al cargar la batería y una curva 6 de resultados de medición al descargar la batería. Se puede ver que la resistencia interna de la batería es mayor cuando la batería se está descargando, que cuando la batería se está cargando.

- 45 La curva 4 de carga tiene un pliegue 5 alrededor del 60% de SOC, lo que significa que la curva de carga sola no permite de manera inequívoca que se determine el SOC para cualquier valor de resistencia medido dado, por ejemplo, un valor de resistencia medido de 0.11 Ohm bajo carga podría corresponder a un SOC de aproximadamente 50%, o un SOC de aproximadamente 62%, dependiendo de a qué lado del pliegue 5 corresponde realmente el resultado de la medición. La curva 6 de descarga tiene un pliegue 7 a aproximadamente 80% SOC, que causa problemas similares al pliegue 5. Sin embargo, dado que estos pliegues ocurren en diferentes puntos a lo largo de las curvas 4 y 6 de SOC,
- 50 se ha reconocido que se pueden usar las mediciones de resistencia tomadas tanto en la carga como en la descarga en combinación entre sí para ayudar a identificar inequívocamente el SOC de una batería que se está probando. Por ejemplo, volviendo al resultado de medición de ejemplo de 0.11 Ohm bajo carga, la resistencia bajo descarga también podría medirse, con el fin de determinar si el resultado de medición de 0.11 Ohm bajo carga corresponde a un punto antes o después de la curva 5, correspondiente ya sea al 50% de SOC o al 62% de SOC. Los tiempos de carga y

descarga medidos en la presente invención son directamente proporcionales a las resistencias internas de carga y descarga de la batería, lo que permite determinar el SOC con base en los tiempos de carga y descarga.

Una primera realización de la invención se describirá ahora con referencia a la Fig. 2 y la Fig. 3. La Fig. 2 muestra un diagrama esquemático de un sistema de gestión de batería conectado a los terminales T1 y T2 positivo y negativo de una batería LS1 de azufre y litio. En esta realización, la batería LS1 de litio y azufre consiste en una sola celda, sin embargo, se apreciará que se pueden combinar múltiples celdas en serie y/o paralelas entre sí dentro de la batería LS1 en realizaciones alternativas. El sistema de gestión de batería comprende un primer circuito formado por las resistencias Ra y Rb, los condensadores Ca y Cb, los interruptores SWa y SWb y un diodo D1. El condensador Cb se considera un condensador de almacenamiento, ya que se utiliza para almacenar la descarga cargada desde la batería LS1, antes de cargar esa carga nuevamente en la batería LS1. El condensador Cb de almacenamiento tiene dos terminales, N1 y N2. El terminal N1 está conectado al terminal T1 positivo de batería a través de la resistencia Rb, y el interruptor SWb conecta el terminal N2 al terminal T2 negativo de batería (a través del diodo D1), o al terminal N3 del condensador Ca.

Se considera que el condensador Ca es un condensador de reserva, ya que se utiliza para almacenar una cantidad relativamente grande de carga, para aumentar y disminuir el voltaje del terminal N2 de condensador de almacenamiento, para controlar si el condensador de almacenamiento envía carga a, o recibe la carga de, la batería LS1.

La resistencia Ra, el conmutador SWa y el condensador Ca de reserva están todos conectados en serie entre sí entre los terminales T1 y T2 de batería, de modo que se puede usar el conmutador SWa para cambiar el condensador Ca de depósito y la resistencia Ra a conexión entre los terminales T1 y T2 de batería, con el fin de cargar el condensador Ca de depósito hasta el mismo voltaje que la batería LS1. La resistencia Ra tiene un valor pequeño, suficiente para evitar que una corriente excesivamente grande fluya hacia el condensador Ca de depósito cuando se cierra por primera vez el conmutador SWa. El conmutador SWa está conectado al terminal N3 del condensador Ca de depósito, entre el condensador Ca de depósito y el terminal T1 positivo de batería.

El sistema de gestión de batería también comprende un segundo circuito, formado por un amplificador DA1 de diferencia y un microcontrolador MC1. El amplificador diferencial tiene dos entradas conectadas a los terminales N1 y N2 del condensador de almacenamiento, y controla la diferencia de voltaje entre esos dos terminales N1 y N2, y tiene una salida conectada al microcontrolador MC1. El microcontrolador MC1 recibe la salida del amplificador DA1 de diferencia y genera señales M0 de control de conmutador con base en la salida, para controlar los conmutadores SWa y SWb.

En uso, el control M0 de conmutador de microcontrolador inicialmente cierra el conmutador SWa, y establece el conmutador SWb para conectar el terminal N2 de condensador de almacenamiento al terminal N3 de condensador de almacenamiento. Luego, se conectan los terminales T1 y T2 de la batería LS1 que se van a medir al circuito, como se muestra, y la batería LS1 carga el condensador Ca de reserva hasta el voltaje de batería, a través de la resistencia Ra. Se descarga cualquier carga residual en el condensador Cb de almacenamiento, ya que sus terminales N1 y N2 están conectados entre sí a través de los conmutadores SWa y SWb y las resistencias Ra y Rb.

Una vez que se carga sustancialmente el condensador Ca de reserva, en un tiempo 0T, se abre el conmutador SWa y se conmuta el conmutador SWb para conectar el terminal N2 del condensador de almacenamiento al terminal T2 negativo de la batería a través del diodo D1. Como se muestra en el diagrama de cronometrado de la Fig. 3, que muestra el voltaje entre los terminales N1 y N2 de condensador de almacenamiento, esto hace que se cargue el condensador Cb de almacenamiento a través de la resistencia Rb. La resistencia Rb es pequeña y su propósito es prevenir que una corriente excesivamente grande fluya desde la batería LS1 cuando se comienza a cargar el condensador Cb de almacenamiento. La rata de esta carga también está limitada por la resistencia interna de la batería LS1, como será evidente para los expertos en la técnica, y se combina esta resistencia interna con la resistencia Rb para formar un circuito RC en serie con una constante de tiempo de $T = \text{Resistencia interna} + Rb) * Cb$, como también será evidente para la persona experta en la técnica. El eje x de la Fig. 2 está marcado en términos de esta constante de tiempo, y se puede ver en la Fig. 2 que el condensador Cb de almacenamiento alcanza el 90% de carga (un voltaje que es el 90% del voltaje de batería) después de que ha transcurrido 2.2T.

Se mide este voltaje a través del condensador Cb de almacenamiento por el amplificador DA1 de diferencia y se detecta por el microcontrolador MC1. Cuando este voltaje indica que el condensador Cb está cargado al 10%, a 0.1T marcado en la Fig. 3, el microcontrolador MC1 comienza a cronometrarse. Cuando este voltaje indica que el condensador está cargado al 90%, a 2.2T marcado en la Fig. 3, el microcontrolador detiene el cronómetro y almacena este tiempo como el tiempo de descarga que la batería gastó para cargar el condensador de almacenamiento del 10% hasta el 90%. Además, el microcontrolador MC1 cambia la salida M0 de control de conmutador para conectar el terminal N2 del condensador Cb de almacenamiento al terminal N3 del condensador Ca de depósito. Dado que el condensador Ca de depósito ya está cargado hasta el voltaje de la batería, esto incrementa el voltaje en el terminal N2 del condensador Cb de almacenamiento hasta el 100% del voltaje de la batería, por lo que el terminal N1 del condensador de almacenamiento sube hasta el 190% del voltaje de la batería. El condensador Cb de almacenamiento comienza a descargarse en la batería LS1 a través de la resistencia Rb, cargando la batería LS1. El microcontrolador mide este tiempo de carga, comenzando desde 2.2T que se muestra en la Fig. 3.

Después de 4.3 T, el voltaje de salida del amplificador DA1 de diferencia indica al microcontrolador que el voltaje a través del condensador Cb de almacenamiento ha caído a un 10% de carga (10% del voltaje de la batería), y el microcontrolador deja de cronometrar el tiempo de carga. En este punto, el microcontrolador podría usar el tiempo de descarga de 0.1T a 2.2T, y el tiempo de carga de 2.2T a 4.3T, en una comparación con una tabla de consulta para determinar el SOC de la batería. Nótese que el valor de T durante 0.1T a 2.2T será diferente al valor de T durante 2.2T a 4.3T, debido a la resistencia interna diferente de la batería durante la descarga y la carga. En consecuencia, el eje x del gráfico de la Fig. 3 no es completamente lineal.

En esta realización, en lugar de tomar solo el tiempo de descarga y el tiempo de carga, se lleva a cabo nuevamente el mismo ciclo de descarga y carga, y nuevamente, por un número repetido de veces. Luego, se pueden sumar todos los tiempos de descarga, se pueden sumar todos los tiempos de carga, y se pueden sumar todos los tiempos de descarga y carga, para producir tres valores para compararlos con una tabla de consulta. Esto promediará los efectos de cualquier ruido o errores de medición, y debería producir un resultado más preciso. La cantidad de ciclos de descarga/carga a partir de los cuales se realizarán los cálculos de SOC dependerá de la precisión requerida, la cantidad de celdas de batería conectadas en paralelo entre sí y la impedancia del sistema, pero por ejemplo, puede estar entre 10 a 100 ciclos de descarga/carga. El tamaño del condensador Ca de depósito es preferiblemente mucho más grande que el condensador Cb de almacenamiento, por ejemplo, el condensador Ca de depósito puede estar alrededor de 1F, y el condensador Cb de almacenamiento puede estar alrededor de 10mF. Luego, se pueden realizar múltiples ciclos de descarga/carga sin que el voltaje a través del condensador de depósito varíe significativamente.

La tabla de consulta puede construirse inicialmente a partir de un conjunto de resultados de medición típicos para baterías de azufre y litio, con técnicas tal como el conteo de Coulomb que se usa para determinar qué SOC corresponde típicamente a qué tiempos de descarga y carga. O, se podría medir un ciclo de descarga completo, utilizando los estados SOC del 100% y 0% para interpolar en qué SOC estaba la batería cuando se midieron cada par de tiempos de descarga y carga.

Una segunda realización de la invención se describirá ahora con referencia a la Fig. 4, que muestra un diagrama esquemático más detallado que el de la Fig. 2. El principio principal de operación de la segunda realización es el mismo que el de la primera realización, con un terminal N5 de un condensador C2 de almacenamiento que está conectado y desconectado de un condensador C1 de depósito, para cargar y descargar una batería LS2 de litio y azufre, respectivamente.

El diagrama esquemático de la Fig. 4 representa explícitamente la resistencia interna de la batería LS2 con una resistencia R1, que variará bajo descarga y carga como se muestra en la Fig. 1. La resistencia R1 está conectada en serie entre los terminales T3 y T4 de batería positivo y negativo. Un microcontrolador MC2 tiene una salida M3 para controlar cuando se carga el condensador C1 de depósito a través de la resistencia R3, antes de los ciclos de descarga/carga, y una entrada M1 de un Op-Amp OP1 que forma un amplificador de diferencia para medir la diferencia de voltaje entre los terminales N4 y N5 del condensador C2 de almacenamiento. El microcontrolador MC2 controla la entrada M1 para medir la duración de los tiempos de descarga y carga, y calcula el SOC de la batería LS2 con base en esos tiempos.

La conmutación del condensador C1 de depósito fuera de y en serie con el condensador C2 de almacenamiento se controla mediante la retroalimentación de la salida del OP Amp OP1. La salida del OP Amp se conecta directamente a la compuerta de un transistor SW3 de conmutación, y se conecta a la compuerta de un transistor SW2 de conmutación a través de una compuerta NG1 de NOT, de manera que los transistores SW2 y SW3 de conmutación forman colectivamente un conmutador de doble enganche de un único polo similar a SWb de la Fig. 2.

Cuando el condensador C2 de almacenamiento tiene una carga del 10%, al comienzo del período de descarga cronometrado de la batería LS2, el voltaje en el terminal N5 es de 0V y el voltaje en el terminal N4 es del 10% del voltaje de la batería. La salida del OP Amp OP1 es la misma que el voltaje de la batería, y el conmutador SW2 está abierto y el conmutador SW3 está cerrado. Al final del período de descarga cronometrado de la batería, cuando el condensador C2 de almacenamiento tiene una carga del 90%, el voltaje en el terminal N5 es 0V y el voltaje en el terminal N4 es del 90% del voltaje de la batería, que causa que el OP Amp OP1 cambie su salida del voltaje de la batería a 0V, que cierra el conmutador SW2 y abre el conmutador SW3, iniciando el período de carga cronometrado de la batería LS2, con el voltaje en el terminal N5 igual que el voltaje de la batería y el voltaje en N4 cambiado al 190% del voltaje de la batería.

Cuando la batería está cargada, el condensador C2 de almacenamiento cae en el nivel de carga, y cuando alcanza el 10% de la carga con un voltaje del 110% del voltaje de la batería en el terminal N4, la salida del Op Amp OP1 regresa al voltaje de batería. Este ciclo se repite continuamente, con el microcontrolador MC2 que mide los límites entre los períodos de tiempo de descarga y carga que corresponden a los cambios en la salida de Op Amp OP1. Usando estos tiempos, el microcontrolador MC2 calcula el SOC de la batería LS2. De manera intermitente, el microcontrolador MC2 puede cerrar el conmutador SW1 para reponer la carga en el condensador C1 de depósito.

El inductor L1 y la resistencia R2 limitan las sobrecargas de corriente en el condensador C2 de almacenamiento, y en esta realización tienen valores de 1uH y 0.03 Ohmios respectivamente. Esta resistencia R2 también actúa como una resistencia de equilibrio que puede ajustarse para proporcionar una constante de tiempo óptima para fines de

medición, y dependerá de la resolución y precisión del sistema previsto y del número de celdas de batería conectadas en paralelo. En esta realización, el condensador C1 de depósito es 1F, y el condensador C2 de almacenamiento es 10mF. En esta realización, las resistencias que forman el amplificador de diferencia junto con el OP Amp OP1 tienen valores de $R_{d1} = 12\text{K}\Omega$, $R_{d2} = 1.2\text{K}\Omega$, $R_{c1} = 10\text{K}\Omega$, $R_{c2} = 1.1\text{K}\Omega$. El diodo D2 se considera un diodo ideal sin caída de voltaje cuando se conduce, sin embargo, las resistencias R_{d1} , R_{d2} , R_{c1} , R_{c2} pueden ajustarse teniendo en cuenta la caída de voltaje para un diodo real, como será evidente para los expertos en la técnica.

La resistencia interna de la batería LS2 ha sido representada como una resistencia fija de R1 por simplicidad, sin embargo, en realidad, la batería tiene una respuesta de impulso que causa alguna variación en la resistencia efectiva durante los periodos de tiempo de descarga/carga. Sin embargo, esto no resta valor a la relación entre los tiempos de descarga/carga y el SOC de la batería.

Cuando la batería LS2 tiene una única celda en un estado de carga del 50%, un valor típico para el tiempo de descarga sería de 2.74 ms, que corresponde a la carga del condensador C2 de almacenamiento, y un valor típico para el tiempo de carga sería 3.46 ms durante la descarga del condensador C2 de almacenamiento.

Si se toman 100 ciclos de descarga/carga, entonces la acumulación de tiempos entre los periodos de descarga (dp) 0.1T a 2.2T, periodos de carga (cp) 2.2T a 4.3T y período total (op) 0.1T a 4.3 T puede proporcionar valores en esta realización de 280 ms(dp), 300 ms(cp) y 580 ms(op) para un SOC del 20%, valores de 267 ms(dp), 348 ms(cp) y 615 ms(op) para un SOC de 40 %, y valor de 280ms(dp), 348ms (cp) y 628ms (op) para un SOC del 60%.

Las resistencias de descarga y carga de una batería típica de azufre y litio variarán de acuerdo con la temperatura a la que se encuentre la batería. Por lo tanto, si el sistema de gestión de batería debe funcionar en un intervalo de temperaturas, entonces es deseable una modificación con base en la temperatura de ya sea la tabla de consulta o de los tiempos que se comparan con la tabla de consulta. Por consiguiente, el microcontrolador comprende además una entrada M2, que está conectada a un sensor TS1 de temperatura del sistema de gestión de batería. El sensor TS1 de temperatura está ubicado cerca de la batería LS2, por lo que mide la temperatura de la batería LS2.

La gráfica de la Fig. 5 muestra varias curvas a diferentes temperaturas, que muestra cómo la resistencia interna de una batería típica de azufre y litio varía mientras se carga a medida que se agrega más y más carga a la batería. Adicionalmente, el gráfico de la Fig. 6 muestra varias curvas a diferentes temperaturas, mostrando cómo la resistencia interna de una batería típica de azufre y litio varía mientras se descarga a medida que más y más carga se descarga de la batería. La temperatura claramente tiene un efecto significativo sobre la resistencia, sin embargo, la relación entre resistencia y temperatura es bien conocida en la técnica, y por lo que el microcontrolador MC2 puede modificar fácilmente los tiempos de descarga y carga medidos con base en las relaciones conocidas para compensar la temperatura.

Usando tres conjuntos de mediciones tomadas en diferentes estados de carga, también puede ser posible compensar los cambios en la resistencia interna de la batería debido a la temperatura, el envejecimiento y la carga externa comparando los valores absolutos de cp, dp y op contra una referencia ideal para cualquier estado dado de carga. Por ejemplo, se puede ver en los gráficos de la Fig. 4 y la Fig. 5 que el cambio de resistencia con respecto a la temperatura es mayor para la batería al descargar, que lo que es cuando se está cargando. La rata con la que los valores cambian a temperaturas específicas se puede utilizar para indicar el estado de vida de la batería y, a su vez, el deterioro de la capacidad de la batería. Se puede aplicar un algoritmo con base en la temperatura y los valores de cp, dp y op para compensar el cambio en la capacidad de una batería de Li-S debido a la temperatura, y contra los valores ideales para un cambio en la capacidad debido al envejecimiento o la carga de la batería.

Además, dado que la resistencia de la batería puede medirse adicionalmente como una función de la magnitud de la carga aplicada y la frecuencia con la que se aplica, los valores de C2 y/o L1 pueden variar para alterar la carga de impulso vista por la batería y la frecuencia de descarga/carga para producir diferentes conjuntos de resultados de medición. Por ejemplo, los componentes variables se pueden usar para C2 y/o L1, o se podrían incorporar circuitos adicionales con C2 y/o L1 configurados a diferentes valores en el sistema de administración de la batería. Se podrían usar los resultados obtenidos por estos resultados de medición adicionales para mejorar la precisión, validar los resultados de medición originales y, más específicamente, permitir que se compensen los efectos de la temperatura y el envejecimiento de la batería al validar las variaciones de resistencia según lo observado por las condiciones de carga variables de los múltiples circuitos. Por ejemplo, C2 podría establecerse a 10mF para un primer conjunto de mediciones, y luego a 20mF para un segundo conjunto de mediciones.

Se muestra una tercera realización de la invención en la Fig. 7, y esto es igual a la segunda realización, excepto que el amplificador de diferencia formado por el OP Amp OP1 mide el voltaje entre los terminales N6 y N7 de la resistencia R2. Por lo tanto, la resistencia R2 actúa como una resistencia de detección de corriente y permite medir la corriente que fluye dentro y fuera del condensador C2. Durante la descarga de la batería LS2, el terminal N7 está a un voltaje más alto que N6, sin embargo, cuando el nivel de corriente cae suficientemente a medida que el condensador de almacenamiento alcanza el 90% de carga, la salida Op Amp OP1 pasa del voltaje de la batería a 0V, comenzando la carga de la batería LS2. El terminal N6 está a un voltaje más alto que N7, sin embargo, cuando el nivel de corriente cae suficientemente a medida que el condensador de almacenamiento cae al 10% de carga, la salida Op Amp OP1 pasa de 0V hasta el voltaje de la batería, iniciando el período de descarga. El microcontrolador MC2 mide las

transiciones en la salida del Op Amp en la entrada M1, de la misma manera que se describió anteriormente en la segunda realización.

5 Se apreciará que podrían implementarse muchas otras disposiciones de elementos reactivos para proporcionar circuitos que tienen periodos de descarga/carga medibles, y que podrían medirse voltajes entre varios puntos de estos circuitos para determinar la descarga/carga de cantidades fijas de carga desde y hacia la batería a través de estos circuitos.

Serán evidentes muchas otras variaciones de las realizaciones descritas que caen dentro del alcance de la invención para los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de gestión de batería de litio y azufre para determinar un estado de carga de una batería (LS1, LS2) de litio y azufre, caracterizado porque el sistema de gestión comprende un primer circuito que tiene al menos un elemento reactivo, el primer circuito configurado para descargar y cargar cantidades fijas de carga desde y hacia la batería (LS1, LS2) a través del al menos un elemento reactivo, y un segundo circuito para controlar la descarga y carga, en el que el segundo circuito está configurado para medir un tiempo de descarga y un tiempo de carga de las cantidades fijas de carga, y determinar el estado de la carga con base en esos tiempos.
2. El sistema de gestión de batería de litio y azufre de la reivindicación 1, en el que al menos un elemento reactivo comprende un condensador (Cb, C2) de almacenamiento, y en el que un tamaño del condensador de almacenamiento fija las cantidades fijas de carga que se descargan desde y se cargan a la batería (LS1, LS2).
3. El sistema de gestión de batería de litio y azufre de la reivindicación 2, en el que el al menos un elemento reactivo comprende un inductor (L1) conectado al condensador (C2) de almacenamiento.
4. El sistema de gestión de batería de litio y azufre de la reivindicación 2 o 3, en el que el primer circuito comprende una red de conmutación conectada al condensador (Cb, C2) de almacenamiento, la red de conmutación está configurada para conmutar un primer terminal del condensador (Cb, C2) de almacenamiento entre los potenciales de voltaje más bajos y más altos para realizar la descarga y carga de la batería (LS1, LS2) a través de un segundo terminal del condensador de almacenamiento (Cb, C2).
5. El sistema de gestión de baterías de azufre y litio de la reivindicación 4, en el que el primer circuito comprende un condensador (Ca, C1) de depósito, y en el que la red de conmutación está configurada para conmutar el condensador (Ca, C1) de depósito fuera de y en serie con el condensador (Cb, C2) de almacenamiento para realizar la descarga y carga de la batería (LS1, LS2) respectivamente.
6. El sistema de gestión de batería de azufre y litio de cualquier reivindicación precedente, en el que el primer circuito comprende un conmutador (SWa, SW1) para cargar el condensador (Ca, C1) de depósito con la batería (LS1, LS2), antes de la conmutación del condensador (Ca, C1) de depósito fuera de y en serie con el condensador (Cb, C2) de almacenamiento para realizar la descarga y carga de la batería (LS1, LS2).
7. El sistema de administración de baterías de azufre y litio de cualquier reivindicación anterior, en el que el segundo circuito está configurado para controlar una diferencia de voltaje entre dos puntos del primer circuito, determinar que la descarga o carga están suficientemente completas cuando la diferencia de voltaje cae por debajo de un nivel predeterminado y, en respuesta, conmutar el primer circuito de descarga a carga, o de carga a descarga, respectivamente.
8. El sistema de gestión de batería de litio y azufre de la reivindicación 7 cuando se adjunta a cualquiera de las reivindicaciones 4, 5 o 6, en el que el segundo circuito comprende un amplificador (DA1, OP1) de diferencia para determinar la diferencia de voltaje entre los dos puntos, y en el que se conecta una salida del amplificador (DA1, OP1) de diferencia a un terminal de control de la red de conmutación, para alternar entre la descarga y carga de la batería (LS1, LS2) con base en la salida del amplificador de diferencia.
9. El sistema de gestión de baterías de azufre y litio de cualquier reivindicación anterior, en el que se configura el segundo circuito para determinar el estado de carga con base en una tabla de consulta que proporciona un valor de estado de carga para cada una de las múltiples combinaciones de tiempos de carga y descarga.
10. El sistema de gestión de batería de litio y azufre de la reivindicación 9 cuando se adjunta a la reivindicación 8, en el que el segundo circuito comprende un microcontrolador (MC1, MC2) configurado para cronometrar los tiempos de descarga y carga con base en la salida del amplificador (DA1, OP1) de diferencia, y determinar el estado de carga con base en la tabla de consulta.
11. El sistema de gestión de batería de azufre y litio de cualquier reivindicación anterior, en el que el segundo circuito está configurado para conmutar repetidamente el primer circuito para descargar y cargar la batería (LS1, LS2) por un número repetido de veces, y determinar el estado de carga con base en la suma de los tiempos de descarga, una suma de los tiempos de carga y, opcionalmente una suma de los tiempos de descarga y carga.
12. El sistema de gestión de batería de azufre y litio de la reivindicación 11, en el que el segundo circuito está configurado para determinar el estado de la batería con base en la suma de los tiempos de descarga y carga.
13. El sistema de gestión de batería de azufre y litio de cualquier reivindicación anterior, que comprende además un tercer circuito configurado para detectar una temperatura de la batería, en el que el segundo circuito está configurado para determinar el estado de carga con base además en la temperatura de la batería.
14. El sistema de gestión de batería de azufre y litio de cualquier reivindicación anterior, en el que las cantidades fijas de carga comprenden una primera cantidad fija de carga que se descarga de la batería durante el tiempo de descarga, y una segunda cantidad fija de carga que se carga en la batería durante el tiempo de carga, en el que la primera

cantidad fija de carga y la segunda cantidad fija de carga tienen sustancialmente el mismo valor entre sí, de modo que la descarga y carga no tienen un efecto general significativo sobre el estado de carga de la batería.

15. Un método para determinar el estado de carga de una batería (LS1, LS2) de litio y azufre, caracterizado porque el método comprende:

- 5 medir una primera vez para descargar la batería (LS1, LS2) de litio y azufre mediante una primera cantidad fija de carga, a través de un primer elemento reactivo;

medir una segunda vez para cargar la batería de litio y azufre (LS1, LS2) mediante una segunda cantidad fija de carga, a través de un segundo elemento reactivo; y

determinar el estado de carga con base en el primer y segundo momento,

- 10 en el que el primer elemento reactivo es opcionalmente un mismo elemento reactivo como el segundo elemento reactivo, y en el que la primera cantidad fija de carga es opcionalmente una misma cantidad de carga como la segunda cantidad fija de carga.

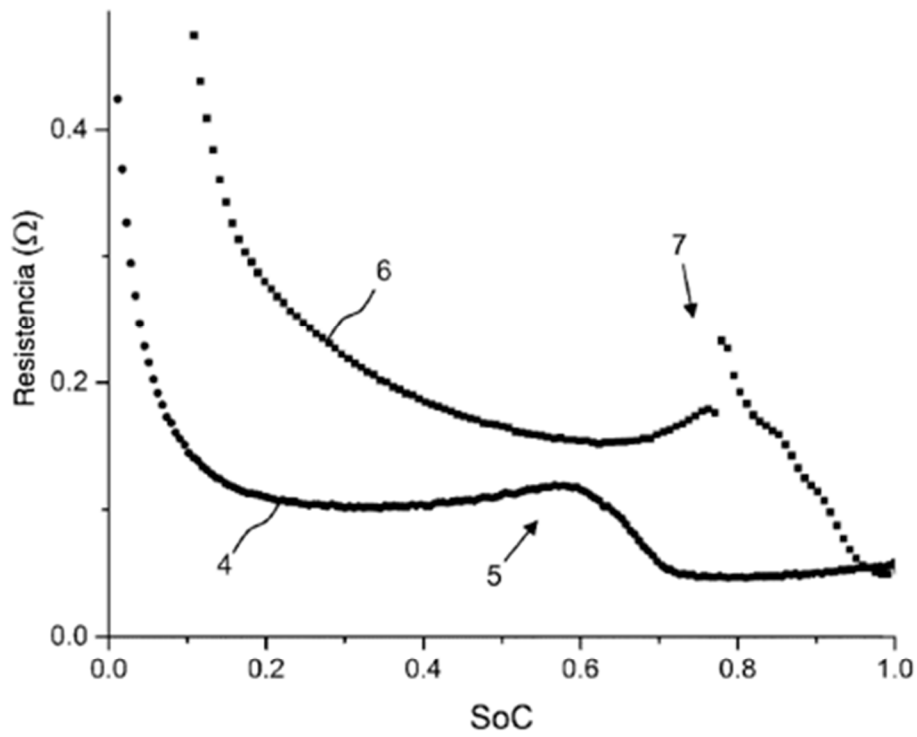


Fig. 1

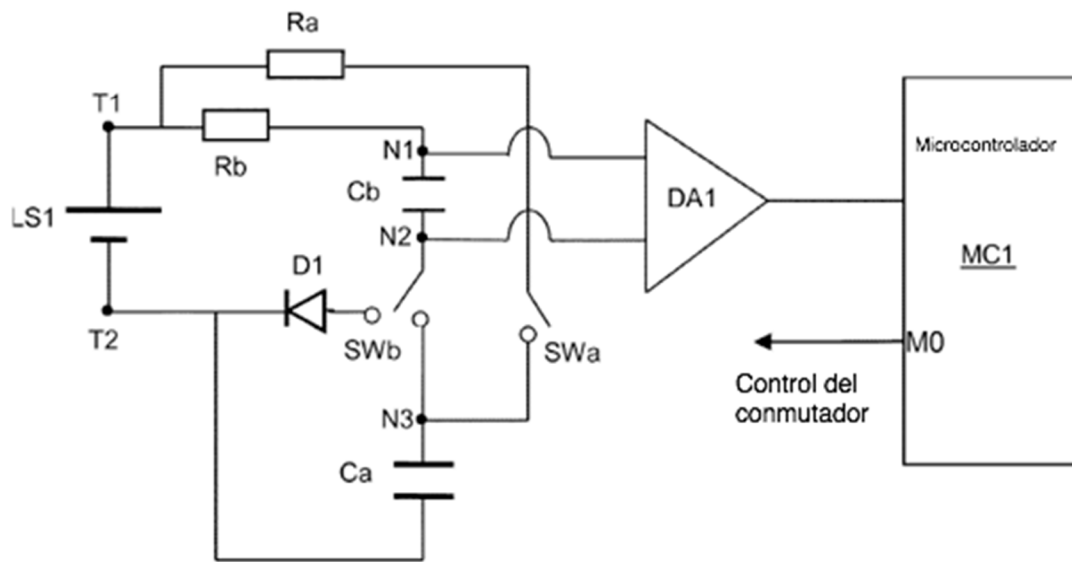


Fig. 2

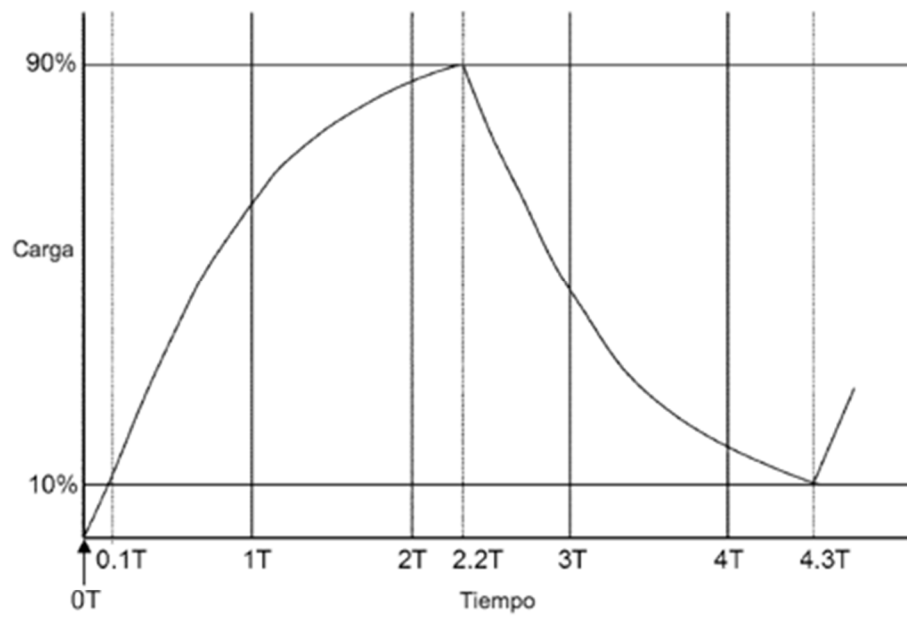


Fig. 3

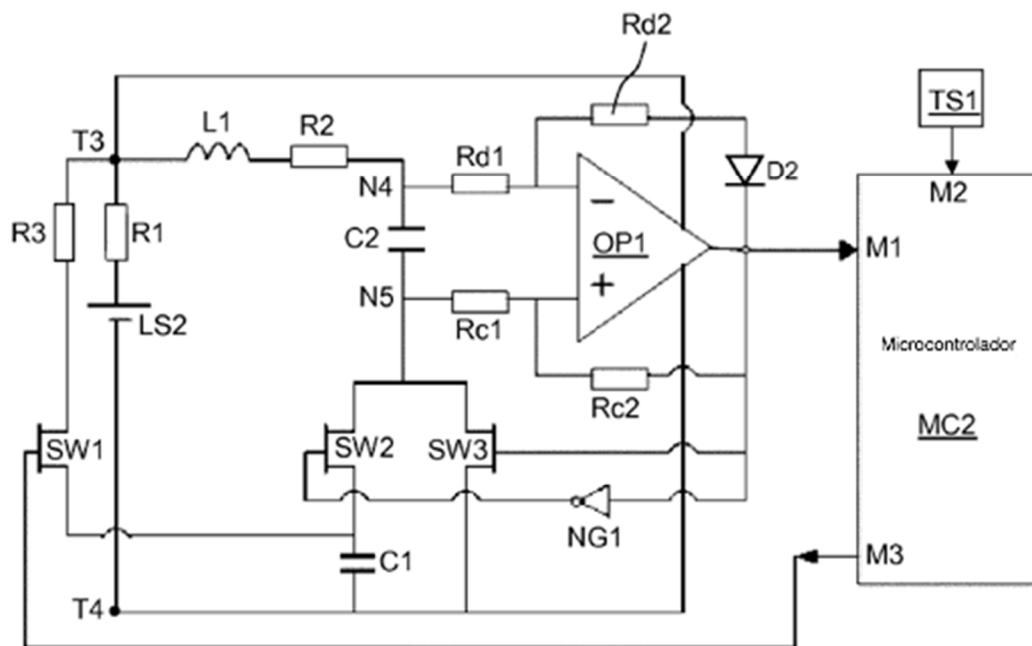


Fig. 4

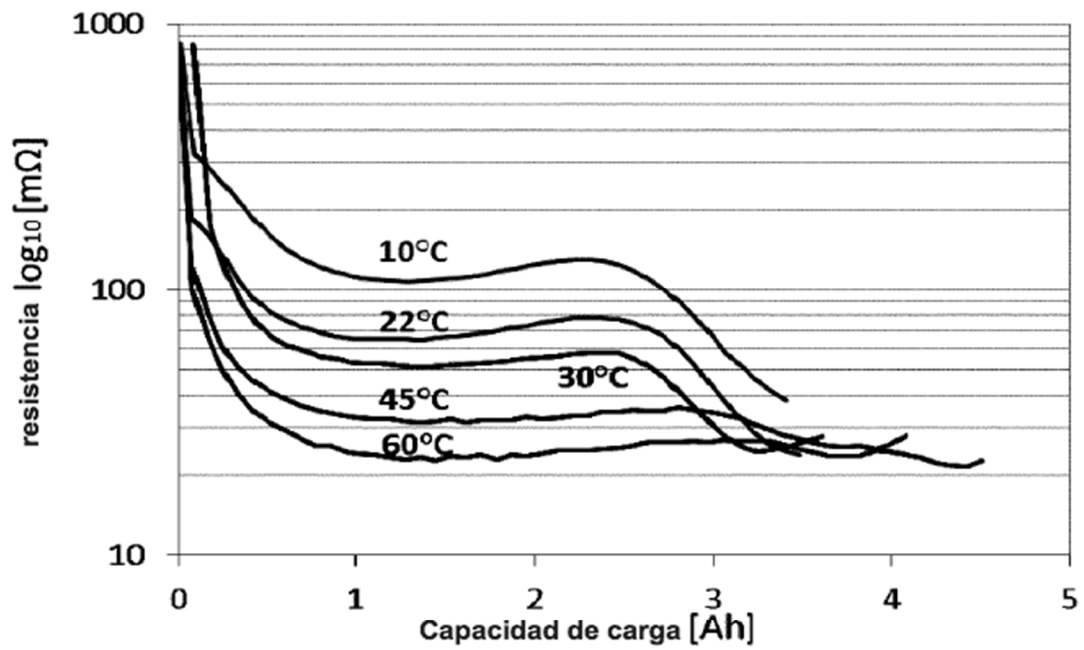


Fig. 5

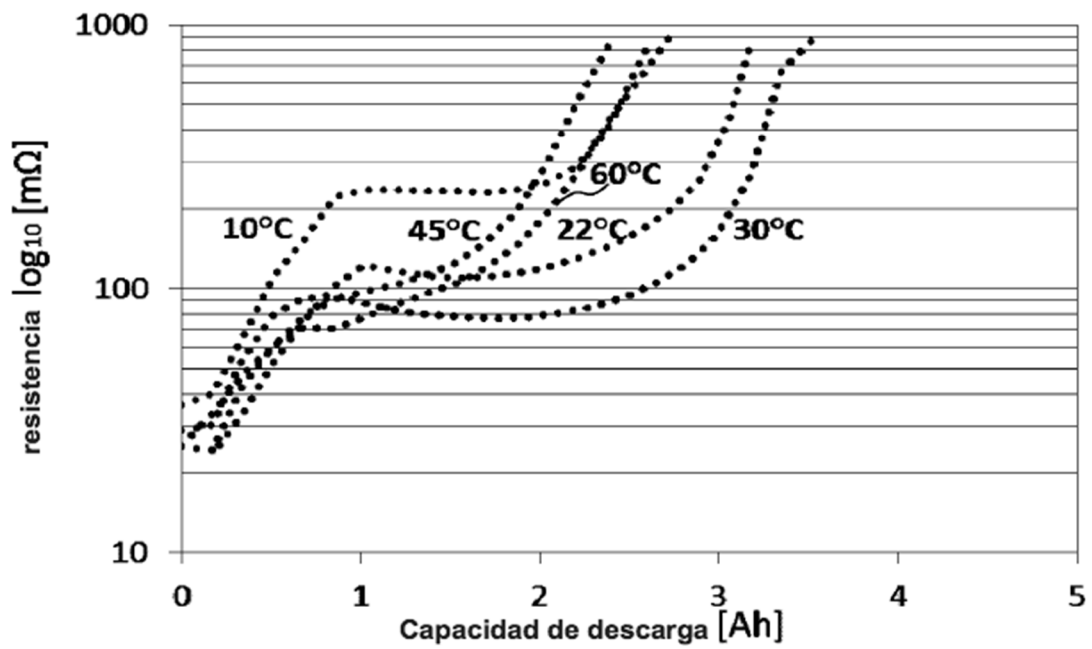


Fig. 6

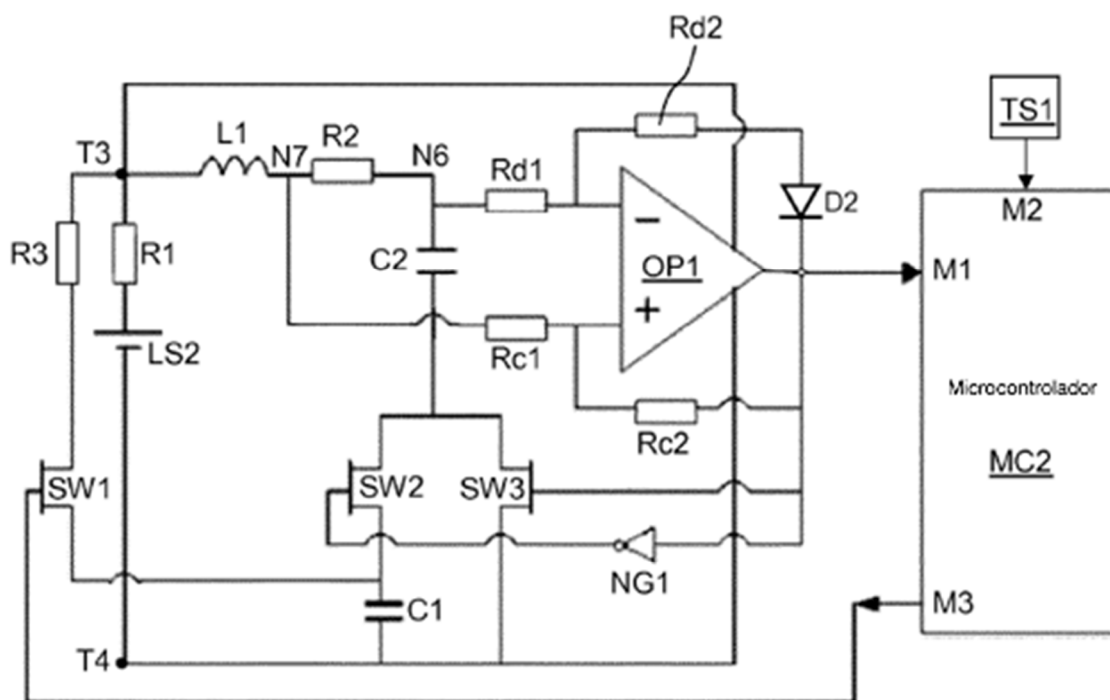


Fig. 7