

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 949**

51 Int. Cl.:

H02J 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2011 E 16176760 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 3101765**

54 Título: **Maximizar la vida útil de condensadores en módulos en serie**

30 Prioridad:

28.06.2010 FR 1055134

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

23.05.2018

73 Titular/es:

**MAXWELL TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
3888 Calle Fortunada
San Diego, CA 92123, US**

72 Inventor/es:

**MAYNARD, XAVIER;
MILEWSKI, ANDRÉ;
SARTORELLI, GIANNI y
SETTERBERG, MIKAEL**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 668 949 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

Maximizar la vida útil de condensadores en módulos en serie

5 **Antecedentes**

Los condensadores, específicamente los ultracondensadores y supercondensadores, en años recientes han llegado a usarse en varias aplicaciones de alta potencia, y en particular ofrecen sinergias cuando se usan con celdas electroquímicas. Los condensadores usados en tales solicitantes se implementan en general en módulos en serie, 10 conteniendo cada módulo en serie un número fijo de condensadores en serie.

En un módulo en serie de condensadores, si falla un condensador mucho antes que sus vecinos, entonces probablemente el módulo tiene que ponerse fuera de servicio. Sería muy deseable si pudiera hacerse de alguna 15 manera que la vida útil de cada condensador coincida con la de sus vecinos más longevos.

Del mismo modo, en un sistema que tiene varios módulos en serie de condensadores, si un módulo falla mucho antes que sus vecinos, entonces probablemente el módulo defectuoso tiene que ponerse fuera de servicio. Sería muy deseable que pudiera hacerse coincidir la vida útil de cada módulo con la de sus vecinos más longevos.

20 Enormes cantidades de tiempo y esfuerzo se han gastado en tales fines, con un éxito limitado. Como un ejemplo, puede hacerse un esfuerzo para medir las características de tales condensadores (tal como la capacitancia precisa) y "clasificarlos", es decir, agrupar los condensadores de acuerdo con las características medidas. Después de que los condensadores se hayan "clasificado", entonces se fabrica cada módulo usando los condensadores de un único clasificador. Aunque la clasificación puede ser útil, no se acerca a la solución del problema, por varias razones, 25 incluyendo que los eventos posteriores pueden envejecer un condensador más rápidamente que otro.

Así mismo, se han gastado grandes cantidades de tiempo y esfuerzo en tratar de lograr resultados similares para las celdas electroquímicas, con diversos grados de éxito. Es tentador imaginar que cualquier enfoque que ayude con las celdas electroquímicas ayude igualmente con los condensadores, y viceversa. Pero hay muchas diferencias entre 30 los condensadores y las celdas electroquímicas que hacen que sea imposible suponer tal cosa. Los modelos de vida de las celdas no son idénticos entre celdas electroquímicas y electrostáticas, por un lado. La relación entre la carga almacenada y la tensión es en general casi lineal para los condensadores y decididamente es extremadamente no lineal para las celdas electroquímicas, por otro lado.

Las referencias de posible interés histórico incluyen las siguientes patentes y solicitudes de patentes publicadas: 35 US5479083 de Brainard, US5952815 de Rouillard, US5764037 de Jacobs, US5713426 de Okamura, US6087799 de Turner, US3602795 de Gunn, US5726552A de Okamura, US5063340A de Kalenowsky, EP1081824 de Rufer, US 2008/197806 de Ridder, US2008/0272735A1 de Roessler, WO2007/145460A1 de Oh, WO2007/145463A1 de Oh, WO2007/145464A1 de Oh, US2004/251934 de Yano, US2006/221516 de Daboussi, US2007/001651 de Harvey, DE10 2008 056962 A1 de Herke, y EP1035627 A1 de Ohta. El documento EP16176760 desvela un método para su 40 uso en un módulo en serie de condensadores, teniendo cada condensador una capacitancia relativa respectiva, teniendo cada condensador en un momento específico una carga respectiva, teniendo cada condensador en un momento específico una tensión respectiva. La experiencia ha demostrado que el envejecimiento de un ultracondensador, definido o caracterizado por la disminución de su capacidad y por un aumento de su resistencia interna, se ve acelerado por la tensión aplicada en sus terminales, por su aumento de temperatura durante su carga, 45 por su temperatura ambiente en el interior del módulo. Dicho de otra manera, se han desarrollado modelos de vida de las celdas que dependen, al menos en parte, de un historial de tensiones aplicadas y de un historial de temperaturas de las celdas.

Por lo tanto, el lector atento apreciará que puede ser muy útil monitorizar la temperatura y la tensión, en la medida de lo posible, y controlar, en la medida de lo posible, la carga de tensión impuesta sobre cada uno de los 50 ultracondensadores. En un conjunto de módulos conectados en serie o en paralelo, estos factores pueden diferir, por un lado, entre los diferentes módulos que componen el conjunto y, por otro lado, entre los diferentes ultracondensadores que componen un módulo específico. Sería deseable intentar uniformar los factores en el interior de un módulo, y entre los módulos, para evitar el envejecimiento prematuro de un ultracondensador que provoca el envejecimiento prematuro de un módulo y que, a su vez, provoca el envejecimiento prematuro de un 55 conjunto.

Los enfoques conocidos hacia estos fines, en particular los de controlar la tensión en los terminales de un ultracondensador durante su carga, incluyen:

- 60
- equilibrado pasivo;
 - cortar a partir de un valor de tensión predeterminado cercano a la tensión máxima especificada para el ultracondensador; y
 - equilibrio de tensión o carga de un ultracondensador con respecto a los ultracondensadores vecinos.

65 Estas dos últimas técnicas usan normalmente unas placas electrónicas analógicas. Una desventaja de cualquier electrónica analógica asociada con los ultracondensadores es que normalmente no es capaz de autodiagnóstico.

Cuanto más complicado es el sistema, mayor es el número de componentes, lo que implica un tiempo promedio reducido entre fallos para la electrónica analógica.

5 Se recordará que en un condensador, la relación entre la carga almacenada Q y la tensión V es (dentro de un intervalo dinámico) casi lineal, siendo el coeficiente C en la ecuación $Q = CV$. Puede usarse esta ecuación para modelar un caso específico donde un número de ultracondensadores están en serie dentro de un módulo. De la Ley de Kirchhof sabemos que en un régimen de carga simple, la corriente a través de cada condensador en serie es la misma, y por lo tanto la carga impartida a cada condensador en la cadena en serie (siendo la integral de tiempo de la corriente) es la misma. Si cada condensador tuviera una capacitancia C idéntica a la de sus vecinos, entonces en cualquier instante dado, se esperaría que cada condensador tuviera casi la misma tensión acumulada en el mismo.

15 A continuación, se supone, en aras de la exposición, que un ultracondensador dentro del módulo ha llegado a tener una capacidad más pequeña que la capacidad promedio de los otros ultracondensadores en el módulo. Si se asume entonces uno o más ciclos de una corriente de carga y una corriente de descarga, entonces la tensión en la celda de baja capacidad tenderá a elevarse más en las cargas y caerá más abajo en las descargas.

20 Como se ha mencionado anteriormente, se ha intentado proporcionar un dispositivo de equilibrado con una matriz en serie capacitiva de este tipo. El dispositivo de equilibrado puede seguir un algoritmo simple, por ejemplo para descargar (hasta cierto punto) cualquier condensador que, en un momento dado, esté a una tensión más alta que el promedio para el módulo. El resultado práctico es que para un condensador específico que es de una capacitancia más pequeña que la media, se descargará cuando esté a una tensión alta; del mismo modo, para un condensador específico que tiene una capacitancia más alta que la media, se descargará cuando esté a una tensión baja. Esto conduce a una disipación de energía inútil.

25 Otro enfoque que se ha intentado es simplemente controlar (y limitar) la tensión aplicada al módulo mediante la circuitería que le carga. Un enfoque relacionado pero distinto que también se ha intentado es simplemente controlar (y limitar) la cantidad de carga aplicada al módulo mediante la circuitería que le cargan. Estos dos enfoques afectan a todos los ultracondensadores del módulo y no tienen en cuenta ninguna característica no idéntica de las celdas en el módulo.

30

Sumario de la invención

35 Una realización a modo de ejemplo de un sistema de acuerdo con la invención proporciona una placa electrónica que comprende unos medios de control digital y/o de mando tales como un microcontrolador que ejecuta un programa para la monitorización y/o el equilibrio de los ultracondensadores dentro de un módulo o de los módulos dentro de un sistema, o ambos. La electrónica, operada como se describe a continuación en el presente documento, hace posible implementar unos protocolos de final de carga más adaptados al control de tensión en los terminales de cada uno de los ultracondensadores y basándose en las circunstancias de un ultracondensador en particular, más que en el principio de subir y bajar la carga de tensión de los ultracondensadores mediante un convertidor. Además, el microcontrolador permite realizar adquisiciones analógicas, controlar un equilibrio activo de los ultracondensadores, comunicar con otros módulos colocados en serie o en paralelo, memorizar defectos o incluso memorizar datos de operación que permiten la creación de estadísticas.

45 De acuerdo con una realización, la placa electrónica comprende varios medios para la formación analógica de señales procedentes de al menos un grupo entre la pluralidad de ultracondensadores comprendidos en el módulo. Esta disposición permite adaptar las señales procedentes de los ultracondensadores a los diferentes componentes de la placa electrónica para que puedan usarse. Ventajosamente, los ultracondensadores forman grupos que comprenden cada uno de los ultracondensadores dispuestos alternativamente con respecto a los ultracondensadores de los otros grupos.

50

55 Una forma de lograr el equilibrio es el uso de medios de equilibrado pasivos. Dichos medios de equilibrado pasivos del módulo pueden comprender una resistencia conectada en paralelo con cada uno de los ultracondensadores del módulo. Esta disposición hace posible tener continuamente un medio de equilibrado que reduce las disparidades de tensión más grandes en los terminales de los ultracondensadores para las tensiones más altas, y mantener un medio de equilibrado para tensiones muy bajas, en la que la placa electrónica ya no puede funcionar.

60 Otra manera de lograr el equilibrio es el uso de medios de equilibrado activos. Dichos medios de equilibrado activos se dirigen a la reducción de la carga de tensión en los terminales de cada condensador, si es demasiado alta. En una realización a modo de ejemplo, un dispositivo disipativo tal como una resistencia está dispuesto en serie con un conmutador activo tal como un transistor, ambos dispuestos en paralelo con cada uno de los ultracondensadores del módulo. A continuación, el microcontrolador puede controlar la apertura y el cierre de cada transistor. El transistor puede ser un transistor de potencia, por ejemplo un transistor bipolar del tipo NPN. La electrónica de equilibrado puede comprender un suministro interno que proporciona alimentación a la electrónica, extrayendo la alimentación de los ultracondensadores del módulo.

65

Si cada módulo tiene su propia electrónica de equilibrado, entonces cuando se trate de diversos módulos, cada

5 electrónica de equilibrado tendrá una interfaz de comunicaciones, preferentemente con aislamiento galvánico, tal como un optoacoplador, lo que permite la comunicación con las otras electrónicas de equilibrado que proporcionan la monitorización y el equilibrio de otros módulos. Como se describirá, cada electrónica de equilibrado tiene preferentemente un medio de almacenamiento de datos no volátiles, lo que permite la monitorización a lo largo del tiempo de la vida útil de los ultracondensadores y del módulo.

10 Dentro de un módulo dado, durante la carga del módulo, el microcontrolador de las electrónicas de equilibrado controla la descarga de los ultracondensadores de capacidad más pequeña cuya tensión es mayor que el promedio de la tensión del módulo calculada a alta tensión.

15 Para saber cuáles son los condensadores de capacidad más pequeña, pueden ponerse en uso cualquiera de varios algoritmos. Con un algoritmo, la medición tiene lugar para un condensador específico si la amplitud de tensión en sus terminales es mayor que un umbral entre 0,5 y 1 V. Esta disposición hace posible detectar un módulo defectuoso que tiene la mala suerte de contener un ultracondensador que ya no se carga adecuadamente.

En una realización a modo de ejemplo, cada condensador tiene un termistor cercano al mismo, conectado a la electrónica de control. En una segunda realización a modo de ejemplo, cada módulo tiene un termistor cercano al mismo, conectado a la electrónica de control respectiva.

20 Descripción de los dibujos

La invención se describirá con respecto a un dibujo en varias figuras

25 La figura 1 muestra, de manera general, el diagrama de cableado de las diferentes partes de un dispositivo de monitorización y equilibrado de acuerdo con la invención.

La figura 2 proporciona un detalle del dispositivo de la figura 1 dedicado al acondicionamiento analógico de las señales procedentes de los ultracondensadores.

30 La figura 3 proporciona un detalle de la parte del dispositivo de la figura 1 dedicada al equilibrio activo.

La figura 4 muestra una gráfica que ilustra un algoritmo en el que el microcontrolador puede basarse para controlar la carga y la descarga de un ultracondensador.

35 La figura 5 muestra una gráfica que ilustra un segundo algoritmo en el que el microcontrolador puede basarse para controlar la carga y la descarga de un ultracondensador.

Donde sea posible, se han empleado los mismos números de referencia entre las figuras para indicar elementos similares.

40 Descripción detallada

45 Como se muestra en la figura 1, un dispositivo 1 para monitorizar y equilibrar un módulo 4 comprende una pluralidad de ultracondensadores 3 conectados en serie que comprende una placa electrónica 2 (en líneas de trazos en el dibujo).

50 Esta placa electrónica 2 comprende un microcontrolador 5 suministrado por un suministro interno 6 que proporciona el suministro de alimentación necesario para el funcionamiento de los diferentes componentes de la placa electrónica 2 tomando el suministro de alimentación directamente de los ultracondensadores 3 del módulo 4.

55 El consumo de energía de este suministro interno 6 es muy pequeño con el fin de descargar los ultracondensadores 3 tan poco como sea posible. La placa electrónica 2 puede extraer alimentación de un suministro externo (omitido para mayor claridad en la figura 1), pero en ausencia de tal alimentación externa, la placa electrónica 2 está adaptada principalmente para funcionar solo en los casos donde los ultracondensadores 3 se han cargado al menos más allá de un nivel de umbral.

La placa electrónica comprende además unos medios de almacenamiento de datos 9 conectados al microcontrolador 5.

60 Un termistor 7 conectado a la placa electrónica 2 está dispuesto en la proximidad del módulo 4 para monitorizar su temperatura. La señal procedente de este termistor 7 está formateada y conectada a la entrada AN2 (una entrada analógica) del microcontrolador 5.

La placa electrónica 2 comprende varias partes que tienen distintas funciones:

- 65
- una primera parte 10 que realiza la multiplexación y el formateo analógico de las señales procedentes de cada uno de los ultracondensadores 3 del módulo 4;

- una segunda parte 20 que realiza el equilibrado pasivo de los ultracondensadores 3, y
- una tercera parte 30 que realiza el equilibrado activo de los ultracondensadores.

5 **Primera parte 10.** La primera parte 10 se detalla en la figura 2. Su fin es formatear las señales procedentes de cada ultracondensador 3 con el fin de medir la tensión en sus terminales, como se describirá a continuación.

Para simplificar la descripción se supone un número par de condensadores 3, y se indican como “impar” y “par” a lo largo de la cadena en serie de condensadores.

10 Comenzando a partir de un primer grupo 11 de ultracondensadores 3 constituido por todos los ultracondensadores pares 3 del módulo 4, un transistor QP1 en serie con una resistencia RP1 de un primer ultracondensador 3 del primer grupo 11 se dirige hacia una línea de medición 101 denominada como “par”, tal como el conjunto completo de transistores QP_{2K} y la resistencia RP_{2K} de los ultracondensadores 3 del primer grupo 11.

15 Del mismo modo, comenzando a partir de un segundo grupo 12 de ultracondensadores 3 constituido por todos los ultracondensadores impares 3 del módulo 4, un transistor QI1 en serie con una resistencia RI1 de un primer ultracondensador 3 del segundo grupo 12 se dirige hacia una línea de medición 102 denominada como “impar”, tal como todos los transistores QI_{2K+1} y la resistencia RI_{2K+1} de los ultracondensadores 3 del segundo grupo 12.

20 Para las líneas de medición “par” e “impar” 101 y 102, que son representativas de la tensión en los terminales de los ultracondensadores 3, respectivamente pares e impares, están dispuestos los transistores QP2 y QI2, por un lado para permitir una medición diferencial de la tensión con la masa y, por otro lado, para comunicarse respectivamente con los transistores QP1 y QI1.

25 La base de los transistores QP2 y QI2 está conectada al microcontrolador 5, que controla de este modo la medición de la tensión en los terminales de cada ultracondensador 3.

Cada una de las tensiones procedentes de las líneas de medición “par” e “impar” está amortiguada, respectivamente, por unos amplificadores operacionales A1 y A2 montados como amplificadores inversores con una relación de amplificación, respectivamente, proporcional a la relación R1/RP1 y R2/RI1.

30 La salida del amplificador operacional A1 se conecta a continuación a una entrada S1 de un primer multiplexor analógico M1 y a una entrada S2 de un segundo multiplexor analógico M2. De manera similar, la salida del amplificador operacional A2 está conectada a una entrada S2 del primer multiplexor analógico M1 y a una entrada S1 del segundo multiplexor analógico M2. Cada multiplexor M1, M2 tiene una entrada C conectada a una entrada C del otro multiplexor M1, M2. Estas dos entradas C están conectadas a una salida del microcontrolador 5 que permite la inversión de la polaridad de las tensiones de salida de los amplificadores A1 y A2 a seleccionar a través de una señal de salida lógica I/O.

35 Por lo tanto, para una señal lógica igual a 0 en las entradas C de los dos multiplexores analógicos M1 y M2, la señal de salida D del multiplexor analógico M1 es igual a la señal de salida A1, mientras que la señal de salida D del multiplexor analógico M2 es igual a la señal de salida A2. Por el contrario, para una señal lógica igual a 1 en las entradas C de los dos multiplexores analógicos M1 y M2, la señal de salida D del multiplexor analógico M1 es igual a la señal de salida A2, mientras que la señal de salida D del multiplexor analógico M2 es igual a la señal de salida A1.

45 Las dos señales de salida D de los dos multiplexores analógicos M1 y M2 se comparan a continuación por medio de un amplificador operacional A3 configurado como un restador. La tensión de salida de este restador es proporcional a la diferencia de las señales procedentes del multiplexor analógico M1 y procedentes del multiplexor analógico M2.

50 Esta tensión de salida es representativa de la diferencia de tensión en los terminales de los ultracondensadores 3 existentes en el tiempo t entre los ultracondensadores “pares” 3 y los ultracondensadores “impares” 3. Esta tensión se envía hacia un convertidor A/D que envía la señal digitalizada de vuelta a la entrada AN1 del microcontrolador 5.

55 Los valores de estas señales digitales pueden almacenarse en los medios de almacenamiento 9 para usarse posteriormente, en particular para la creación de estadísticas en las oscilaciones de tensión de carga de los dos grupos de ultracondensadores 3.

La medida de tensión de los ultracondensadores puede alcanzar niveles próximos en las centésimas de un voltio mientras que los componentes A1, A2, A3, M1, y M2 se suministran convencionalmente con tensiones entre ± 5V y ± 15V.

60 Por lo tanto, las relaciones de atenuación R1/RP1 y R2/RI1 se eligen para permanecer en esta zona de funcionamiento. Las relaciones de amplificación R5/R3 y R6/R4 restablecen la escala de medición de los ultracondensadores 3 a la salida del amplificador operacional A3.

65 **Segunda parte 20.** La segunda parte 20 consiste en disponer una resistencia RPK en paralelo con cada ultracondensador 3. Esta resistencia se selecciona para ser una resistencia muy alta, de manera que el ultracondensador 3 descarga solo muy lentamente a través de esta resistencia RPK. De esta forma, incluso si los

condensadores 3 están “agotados”, lo que significa que no transportan una tensión suficientemente alta para alimentar a las electrónicas 10, 30, aún puede realizarse algún equilibrio.

Tercera parte 30. La tercera parte se detalla en la figura 3. Esta parte se refiere al equilibrio activo entre los ultracondensadores SC_K3 basándose en el principio de descarga de los ultracondensadores 3 mediante una resistencia R_K1.

En una realización a modo de ejemplo, esta resistencia R_K1 tiene un valor de 5 Ω y se conmuta en paralelo de un ultracondensador 3 por un transistor de potencia Q_K1 del tipo NPN configurado como un conmutador.

La corriente de base para el control del transistor Q_K1 se toma directamente del ultracondensador 3 determinada por medio de otro transistor Q_K2, controlándose este último mediante un tercer transistor Q_K3 controlado por una señal de salida digital V_{CK} procedente del microcontrolador 5.

La orden procedente del microcontrolador 5 se transforma en la corriente I_{CK} controlada por Q_K3 y R_K5. Esta corriente I_{CK} tiene un valor pequeño con el fin de no interferir con los ultracondensadores 3 que no están destinados a verse afectados por la descarga resultante procedente del equilibrado activo.

Cada ultracondensador 3 puede de este modo descargarse de manera individual desviándose con una resistencia R_K1 como consecuencia de la emisión de una señal lógica V_{CK} que entra desde el microcontrolador 5.

De esta manera, la tensión de carga de un ultracondensador 3 que tiene una tensión mayor que la de los otros ultracondensadores 3 del mismo módulo puede descargarse con el fin de realizar un equilibrio intramodular.

Normalmente no habrá un módulo sino varios módulos, en diversas conexiones series o en paralelo o en conexiones serie/paralelo. El microcontrolador 5 de un módulo 4 se comunica con otro módulo conectado en serie o en paralelo con el módulo 4 por medio del optoacoplador 8 que permite un aislamiento galvánico de la comunicación entre los módulos.

El microcontrolador 5 puede de este modo tener en cuenta la tensión en los terminales de un módulo adyacente que se comunica al mismo, con el fin de equilibrar la tensión en los terminales del módulo 4 en comparación con la tensión del módulo adyacente.

Una tensión de carga más baja medida en los terminales de otro módulo provoca de este modo que se baje la tensión de carga en los terminales del módulo 4 por medio de la orden del microcontrolador 5 de la placa electrónica 2 del módulo 4. De esta manera, la tensión de la cadena en serie de ultracondensadores 3 del módulo 4 puede reducirse con el fin de realizar un equilibrio intermodular.

Esto permite equilibrar los ultracondensadores 3 entre sí en el interior del módulo 4, y permite equilibrar los módulos entre sí.

Los módulos típicos pueden tener cadenas de entre 6 y 32 ultracondensadores 3 conectados en serie.

Medición de capacitancias relativas. El dispositivo 1 como se ha descrito anteriormente, mantiene un seguimiento de qué condensadores tienen la capacitancia más pequeña y cuales tienen una mayor capacitancia, y descarga solamente los condensadores que tienen la capacitancia más pequeña, haciéndolo solo cuando dichos condensadores están en (o están acercándose) alta tensión. Lo hace de manera independiente de donde esté el módulo en un ciclo de carga/descarga de tensión. Por lo tanto, la energía disipada no es mayor que la estrictamente necesaria para realizar el equilibrado.

Sin embargo, el lector atento apreciará que para este tipo de equilibrado, es necesario conocer la capacitancia relativa de cada ultracondensador 3 del módulo 4 en comparación con sus vecinos en la cadena en serie de celdas.

A continuación, se tratarán dos algoritmos distintos, cada uno de los cuales se cree que es útil para el objetivo de elaborar las capacitancias relativas.

Un primer algoritmo. Un primer algoritmo para estimar esta capacidad relativa de cada una de las celdas se basa en un análisis de las tensiones en los terminales de cada ultracondensador 3, en diversos momentos.

La figura 4 muestra la tensión medida en los terminales de un módulo 4 (en este caso indicado como V_{MÓDULO} en el eje vertical) durante el tiempo de un ciclo de carga y descarga (a veces llamado un ciclo de vida), el flujo de tiempo se representa en el eje horizontal.

La adquisición de la tensión del módulo 4 se realiza a una frecuencia comprendida entre 10 Hz y 100 Hz. Mediante esto se quiere decir que el muestreo se realiza entre diez veces por segundo y cien veces por segundo.

Se calcula tal muestreo que ha tenido lugar, ΔVi y la pendiente ΔVi/Δti. En los momentos en que esta relación es

positiva, esto significa que el módulo 4 se está cargando, y en los momentos en que esta relación es negativa, esto significa que el módulo 4 se está descargando.

Se valida un ciclo de carga o descarga para medir la capacidad si, y solo si:

- 5
- $\Delta V_i / \Delta t_i < RI$, siendo RI una constante calculada a partir de la capacidad total del módulo 4 y que corresponde a un nivel de corriente que es suficientemente bajo como para obtener una medición confiable, y
 - la amplitud de tensión del ciclo es mayor que un umbral comprendido entre 0,5 y 1 V por el ultracondensador 3.
- 10 Bajo estas condiciones, la capacidad relativa de cada uno de los ultracondensadores 3 de un módulo específico 4 se calcula por la fórmula:

$$C_{SC_k} = \frac{\left| \frac{\Delta V_i}{\Delta t_i} \right|_k}{\left| \frac{\Delta V_i}{\Delta t_i} \right|_{\text{módulo}}}$$

- 15 *Un segundo algoritmo basado en mediciones capacidades relativas.* En otra realización de la invención, se llega a una estimación de la capacitancia relativa respectiva de cada condensador por medio de mediciones de tensiones en cada uno de los condensadores. Se identifica un primer condensador en el módulo en serie que tiene una capacitancia relativa estimada más pequeña que la capacitancia relativa estimada de un segundo condensador en el módulo en serie. Se hace que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador. Se espera que la vida útil del condensador de capacitancia más pequeña pueda ampliarse de este modo. Como en otros ejemplos del presente documento, los condensadores pueden ser ultracondensadores.
- 20

25 Una forma de lograr el resultado de hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador puede ser conectando un resistencia al primer condensador para durante cierto tiempo, reduciendo de este modo la carga del primer condensador.

Puede ser útil explicar ahora cómo se puede llegar a una estimación de la capacidad relativa respectiva de cada condensador. En una secuencia de etapas a modo de ejemplo, esto se realiza por medio de mediciones de las tensiones en cada uno de los condensadores y, en particular, se hace realizando una multiplicidad de las mediciones de capacidad relativa y promediando las mediciones de capacidad relativa.

30

Una medición de capacidad relativa puede hacerse realizando las etapas de:

- 35 medir la tensión respectiva en cada uno de los condensadores, definiendo de este modo una suma de las tensiones que representan una tensión a través del módulo en serie en un primer momento cuando la corriente que pasa a través del módulo tiene un valor más pequeño que un primer umbral predeterminado;
- 40 medir de nuevo la tensión respectiva en cada uno de los condensadores, definiendo de nuevo de este modo una suma de las tensiones que representan una tensión a través del módulo en serie en un segundo momento después de que la corriente que pasa a través del módulo haya superado el primer umbral predeterminado y a continuación haya caído a un valor más pequeño que el primer umbral predeterminado;
- para cada condensador, una diferencia entre la tensión respectiva en el primer momento y la tensión respectiva en el segundo momento que define un cambio de tensión respectiva;
- 45 para la matriz en serie, una diferencia entre la tensión a través del módulo en serie en el primer momento y la tensión a través del módulo en serie en el segundo momento que define un cambio de tensión respectiva para el módulo en serie;
- para cada condensador, una relación entre su cambio de tensión respectiva y el cambio de tensión en el módulo en serie que define cada una de las mediciones de capacidad relativa.

50 Se piensa que es preferible evitar la realización de la actividad de hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador en los momentos en los que tienen lugar las mediciones de tensiones. Dicho de otra manera, se piensa que es preferible evitar la realización de las mediciones de las tensiones en los momentos en los que está teniendo lugar la etapa de hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador. En un lenguaje más simple, se piensa que es preferible evitar el muestreo cuando está teniendo lugar el equilibrado, o evitar el equilibrado cuando está teniendo lugar un muestreo.

55

Puede ser útil para explicar por qué las mediciones de tensión se realizan durante los tiempos en los que la corriente a través de la matriz en serie es relativamente pequeña. La idea es que cada uno de los condensadores tiene una resistencia interna. Si la corriente era alta en el momento de las mediciones de tensión, entonces la caída de IR a

60

través de las resistencias internas arrojaría las lecturas de tensión. Por lo tanto, se piensa que es preferible realizar las mediciones de tensión en momentos en los que las corrientes son relativamente pequeñas.

5 En lo que concierne a este algoritmo, se apreciará que una forma de realizar las mediciones de tensión es usando un multiplexor (el papel de parte de la circuitería en la caja 10 en la figura 1) para conectar selectivamente cada uno de los condensadores, uno por uno, a una circuitería analógica tal como se muestra en la figura 2, que a su vez pasa a una entrada analógica a digital AN1 en la figura 1.

10 Volviendo ahora a la figura 5, este algoritmo se describirá de manera pictórica.

Un eje vertical superior describe la tensión a través de un módulo entero (lo que significa la tensión a través de una cadena en serie de los condensadores).

15 Un eje vertical inferior describe la corriente a través del módulo durante la carga o la descarga.

Un eje horizontal muestra el paso del tiempo, a través de un intervalo de carga y posteriormente a través de un intervalo de descarga.

20 Se apreciará que debido a que el almacenamiento es en condensadores, cuya tensión en un intervalo considerable está relacionada linealmente con la carga almacenada, entonces, la curva inferior (corriente) es aproximadamente una primera derivada temporal de la curva superior (tensión). Diciendo lo mismo de manera diferente, la curva superior (tensión) es aproximadamente una integral o "área debajo de la curva" en cuanto a la curva inferior (corriente).

25 En el eje vertical inferior, se muestra un umbral predeterminado para las corrientes que son relativamente pequeñas, ligeramente por encima o por debajo de una corriente cero. Este intervalo se refiere a la situación mencionada anteriormente, es decir, que se desea realizar las lecturas de tensión en momentos en los que las caídas de IR dentro de los condensadores son relativamente pequeñas.

30 La región en un círculo en la curva superior (ampliado para mayor claridad) muestra una medición delta-V tomada en un momento en el que la corriente a través del módulo es relativamente pequeña (como se muestra en la curva inferior). Este valor delta-V (a lo largo de un intervalo de tiempo delta-t) se mide para una celda específica en la matriz de celdas en serie. De manera importante, muy pronto antes o después (o ambos), se miden los valores delta-V similares para las otras celdas en la matriz en serie de celdas. Estos valores delta-V se suman para llegar a una tensión total en toda la matriz en serie.

35 En un aparato a modo de ejemplo, cada medición de tensión de celda se tomará cada 150 microsegundos. Con una cadena en serie típica de celdas de (digamos) 18 celdas, esto significa que las 18 mediciones pueden lograrse en alrededor de 3 milisegundos.

40 La medición de capacitancia relativa puede tratarse con mayor detalle. Se apreciará que reducido a su esencia, el cálculo se basa en una variación de la tensión en los terminales del módulo, en comparación con la tensión de celda.

45 Para n celdas en el módulo, suponiendo por ejemplo 17 celdas en el módulo, entonces la capacitancia relativa C_n (expresado como un porcentaje de la capacitancia promedio de todas las celdas) es

$$C_n [\%] = \Delta (V_{\text{módulo}} / 17) / \Delta V_n$$

50 donde $V_{\text{módulo}}$ es la tensión en los terminales del módulo, y V_n es la tensión de celda para la n celda.

Para obtener una medición de tensión válida, se aplican los siguientes criterios:

$$\Delta V_{\text{módulo}} > 0,5V * 17 = 8,5V$$

$$|I_{\text{módulo}}| < 7A$$

55 El primer criterio está motivado por el objetivo de que cada celda habrá cambiado su tensión por al menos la mitad de un voltio. Suponiendo nuevamente 17 celdas por módulo, esto significa que la ΔV para el módulo habrá superado los 8,5 voltios.

60 El segundo criterio está motivada por el objetivo de que en el momento del muestreo de tensión, la corriente (su valor absoluto) a través del módulo no habrá superado los 7 amperios.

Suponiendo una capacitancia de cada condensador de 176 faradios, y suponiendo un intervalo de tiempo Δt de 1 segundo, entonces la medición de la corriente $< 7A$ significa que $\Delta V_{\text{módulo}} < 40 \text{ mV}$.

5 Se apreciará que una de las entradas al cálculo de capacitancia relativo puede ser la tensión total a través de la cadena. Esto plantea la cuestión de si se requiere que el aparato incluya algún medio para medir toda la tensión en toda la cadena. Si bien sería posible ajustar el aparato para medir la tensión a través de toda la cadena por separado, sería más que adecuado simplemente sumar las tensiones a través de las celdas individuales para llegar a la tensión a través de toda la cadena.

10 El algoritmo se describe con respecto a la capacitancia relativa de cada uno de los condensadores en la cadena. Se apreciará que esto (la mera capacidad relativa) es más que suficiente para permitir elegir qué condensadores "sangrar" con el fin de reducir el riesgo de que se carguen a una tensión demasiado alta. Habiendo dicho esto, en algunos aparatos también puede estar disponible una medición de corriente precisa, midiendo la corriente a través de la cadena. Si es así, entonces puede ser posible una coulometría. Esto, junto con unas mediciones de tensión precisas, permitirá medir o al menos estimar las capacitancias reales (o "absolutas") de los diversos condensadores en la cadena. En ese caso, las capacitancias absolutas también pueden emplearse para permitir elegir qué condensadores "sangran" con el fin de reducir el riesgo de que se carguen a una tensión demasiado alta. Si esto se hace, se apreciará que los valores relativos de las dos capacitancias absolutas puede entenderse que proporcionan unas capacitancias relativas y los procedimientos que se acaban de describir pueden realizarse haciendo los cambios necesarios, proporcionando de este modo los mismos beneficios de prolongación de vida útil para unos condensadores específicos.

25 Otro enfoque para aumentar la vida útil de un módulo se hace posible si un sensor de corriente fiable está disponible para el módulo. Este enfoque se basa en un modelo de vida útil de servicio que supone que una corriente alta a través de un módulo puede degradar su vida útil. Suponiendo este modelo, entonces la etapa de protección es para reducir o limitar la tensión a través del módulo (a través de la cadena en serie de condensadores) siempre que sea posible en los momentos en los que se detectan corrientes altas (corrientes que superan cierto umbral).

30 Una variante más sofisticada de este enfoque es definir un espacio de corrientes y tensiones, y reducir o limitar la tensión a través del módulo cuando se encuentran cualquiera de las combinaciones específicas de corrientes y tensiones.

35 *Mediciones de temperatura y aumento de la vida útil de las celdas.* En otra realización de la invención, se mide la temperatura de cada condensador en un módulo en serie. Se identifica un primer condensador en el módulo en serie que tiene una temperatura más alta que la temperatura de un segundo condensador en el módulo en serie. Se hace que el primer condensador se cargue a una tensión respectiva más baja que la tensión respectiva del segundo condensador. Como se ha mencionado anteriormente, una forma de hacerlo es conectando una resistencia al primer condensador durante algún tiempo, reduciendo de este modo la tensión del primer condensador. Como en otros ejemplos en el presente documento, los condensadores pueden ser ultracondensadores. Se espera que la vida útil de servicio del condensador más caliente pueda aumentarse de este modo.

40 Una variante de este enfoque se aplica a una pluralidad de módulos en serie de condensadores, teniendo cada módulo una temperatura respectiva. Se mide la temperatura de cada módulo. Se identifica un primer módulo que tiene una temperatura más alta que la temperatura de un segundo módulo. Se hace que el primer módulo se cargue a una tensión respectiva más baja que la tensión respectiva del segundo módulo. Esto podría lograrse conectando una resistencia al primer módulo durante algún tiempo, reduciendo de este modo la tensión del primer módulo. Más elegantemente, esto puede lograrse aplicando una corriente de carga más pequeña al primer módulo que al segundo módulo, o aplicando una corriente de carga al primer módulo durante un tiempo más corto que al segundo módulo. Como en otros ejemplos del presente documento, los condensadores pueden ser ultracondensadores. Se espera que la vida útil de servicio del módulo más caliente pueda aumentarse de este modo.

50 El lector atento, que ha leído el presente documento, no tendrá dificultad para idear una miríada de mejoras y variaciones obvias de la invención, todas las cuales están destinadas a abarcarse dentro de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para su uso en un módulo en serie de condensadores (3), teniendo cada condensador una capacitancia relativa respectiva, teniendo cada condensador en un momento específico una carga respectiva,
 5 teniendo cada condensador en un momento específico una tensión respectiva, comprendiendo el método:
- llegar a una estimación de la capacitancia relativa respectiva de cada condensador midiendo las tensiones en cada uno de los condensadores;
 10 identificar un primer condensador en el módulo en serie que tiene una capacitancia relativa estimada más pequeña que la capacitancia relativa estimada de un segundo condensador en el módulo en serie; y
 hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador.
2. El método de la reivindicación 1, en el que hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador comprende conectar una resistencia al primer condensador durante algún tiempo, reduciendo de este modo la carga del primer condensador.
3. El método de la reivindicación 1, en el que los condensadores son ultracondensadores.
- 20 4. El método de la reivindicación 1, en el que el módulo en serie en un momento específico tiene una corriente respectiva que pasa a través del mismo, definiendo la corriente respectiva en diversos momentos valores positivos, negativos y cero, y llegar a una estimación de la capacitancia relativa respectiva de cada condensador midiendo las tensiones en cada uno de los condensadores comprende realizar una multiplicidad de mediciones de capacidad relativa y promediar las mediciones de capacidad relativa, comprendiendo cada medida de capacidad relativa:
- 25 medir la tensión respectiva en cada uno de los condensadores, definiendo de este modo una suma de las tensiones que representan un tensión a través del módulo en serie, en un primer momento cuando la corriente que pasa a través del módulo en serie tiene un valor más pequeño que un primer umbral predeterminado;
 30 medir nuevamente la tensión respectiva en cada uno de los condensadores, definiendo de nuevo de este modo una suma de las tensiones que representan un tensión a través del módulo en serie, en un segundo momento después de que la corriente que pasa a través del módulo en serie haya superado el primer umbral predeterminado y haya caído posteriormente a un valor más pequeño que el primer umbral predeterminado;
 para cada condensador, una diferencia entre la tensión respectiva en el primer momento y la tensión respectiva en el segundo momento que define un cambio de tensión respectiva;
 35 para el módulo en serie, una diferencia entre la tensión a través del módulo en serie en el primer momento y la tensión a través del módulo en serie en el segundo momento que define un cambio de tensión respectiva para el módulo en serie;
 para cada condensador, una relación entre su cambio de tensión respectiva y el cambio de tensión en el módulo en serie que define cada una de las mediciones de capacidad relativa.
- 40 5. El método de la reivindicación 1, en el que hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador no se realiza en ninguno de los momentos en que tienen lugar las mediciones de las tensiones.
- 45 6. El método de la reivindicación 1, en el que las mediciones de las tensiones tienen lugar solo en los momentos en que no se hace que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador.
7. Un aparato para su uso con un módulo en serie de condensadores, (3) teniendo cada condensador una capacidad relativa respectiva, teniendo cada condensador en un momento específico una carga respectiva, teniendo cada condensador en un momento específico una tensión respectiva, comprendiendo el aparato:
- 50 medios para llegar a una estimación de la capacitancia relativa respectiva de cada condensador midiendo las tensiones en cada uno de los condensadores;
 55 medios para identificar un primer condensador en el módulo en serie que tiene una capacitancia relativa estimada más pequeña que la capacitancia relativa estimada de un segundo condensador en el módulo en serie; y
 medios para hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador.
- 60 8. El aparato de la reivindicación 7, en el que los medios para hacer que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador comprenden una resistencia que puede conectarse selectivamente al primer condensador, reduciendo de este modo la carga del primer condensador
- 65 9. El aparato de la reivindicación 7 en el que los condensadores son ultracondensadores.

10. El aparato de la reivindicación 7, en el que el módulo en serie en un momento específico tiene una corriente respectiva que pasa a través del mismo, definiendo la corriente respectiva en diversos momentos valores positivos, negativos y cero, los medios para llegar a una estimación de la capacidad relativa respectiva de cada condensador midiendo las tensiones en cada uno de los condensadores comprenden unos medios para realizar una multiplicidad de mediciones de capacidad relativa y promediar las mediciones de capacidad relativa, comprendiendo cada medición de capacidad relativa:
- 5
- medir la tensión respectiva en cada uno de los condensadores, definiendo de este modo una suma de las tensiones que representan un tensión a través del módulo en serie, en un primer momento cuando la corriente que pasa a través del módulo en serie tiene un valor más pequeño que un primer umbral predeterminado;
- 10
- medir nuevamente la tensión respectiva en cada uno de los condensadores, definiendo de nuevo de este modo una suma de las tensiones que representan un tensión a través del módulo en serie, en un segundo momento después de que la corriente que pasa a través del módulo en serie haya superado el primer umbral predeterminado y haya caído posteriormente a un valor más pequeño que el primer umbral predeterminado;
- 15
- para cada condensador, una diferencia entre la tensión respectiva en el primer momento y la tensión respectiva en el segundo momento que define un cambio de tensión respectiva;
- para el módulo en serie, una diferencia entre la tensión a través del módulo en serie en el primer momento y la tensión a través del módulo en serie en el segundo momento que define un cambio de tensión respectiva para el módulo en serie;
- 20
- para cada condensador, una relación entre su cambio de tensión respectiva y el cambio de tensión en el módulo en serie que define cada una de las mediciones de capacidad relativa.
11. El aparato de la reivindicación 7, en el que los medios para hacer no hacen que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador en cualquier momento cuando tiene lugar la medición de las tensiones.
- 25
12. El método de la reivindicación 7, en el que los medios para llegar miden las tensiones en momentos en que los medios para hacer no están haciendo que el primer condensador se cargue a un nivel de carga respectivo más bajo que el nivel de carga respectivo del segundo condensador.
- 30

FIG. 1

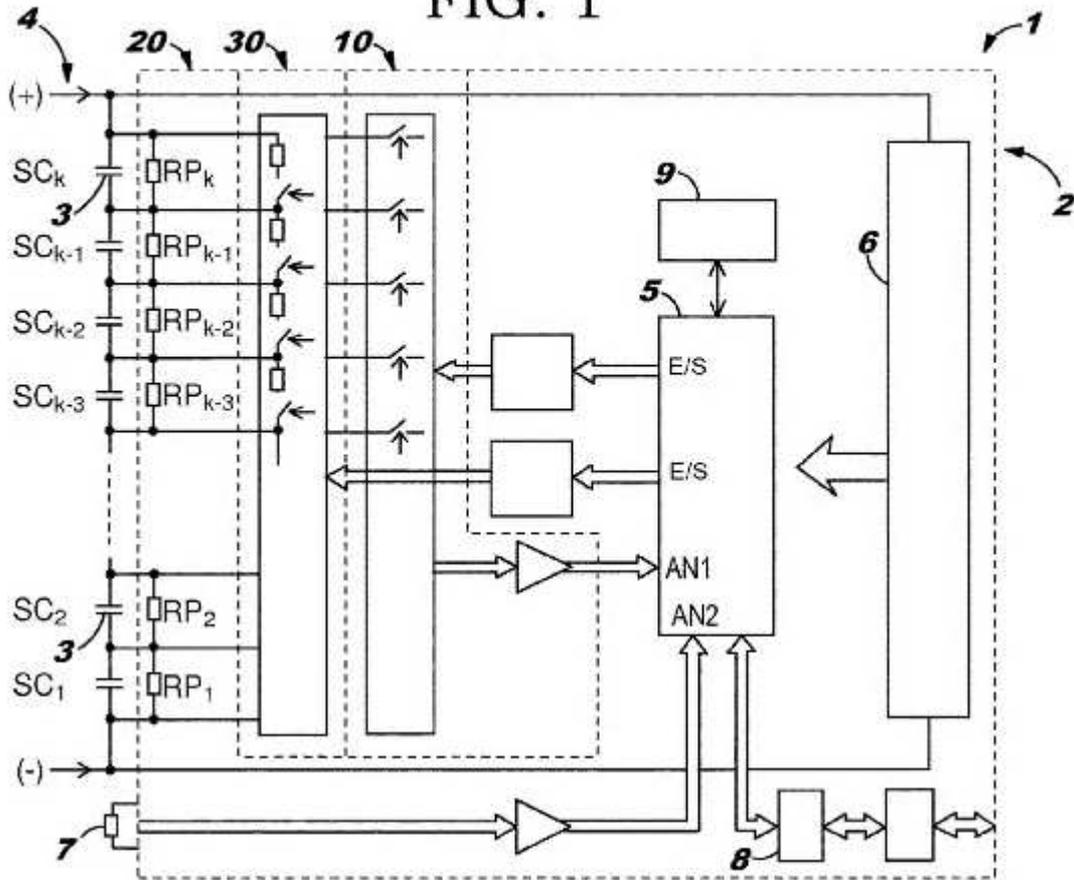


FIG. 2

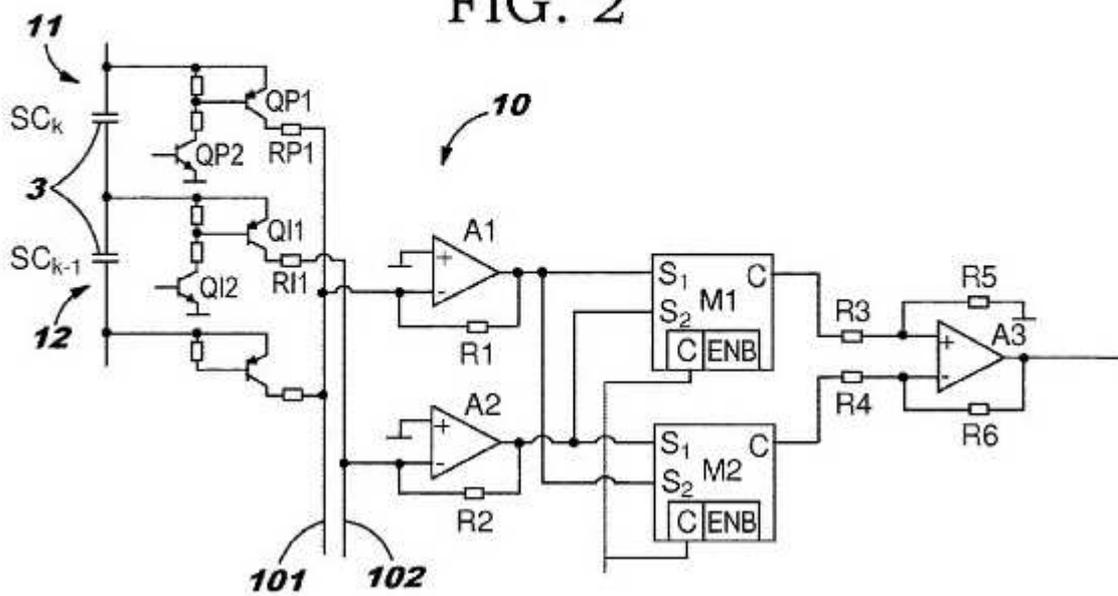


FIG. 3

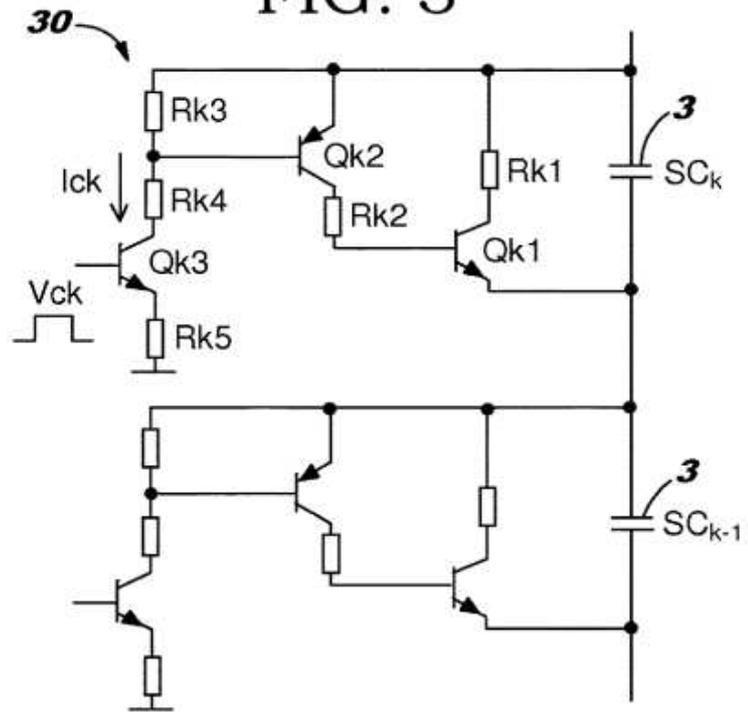


FIG. 4

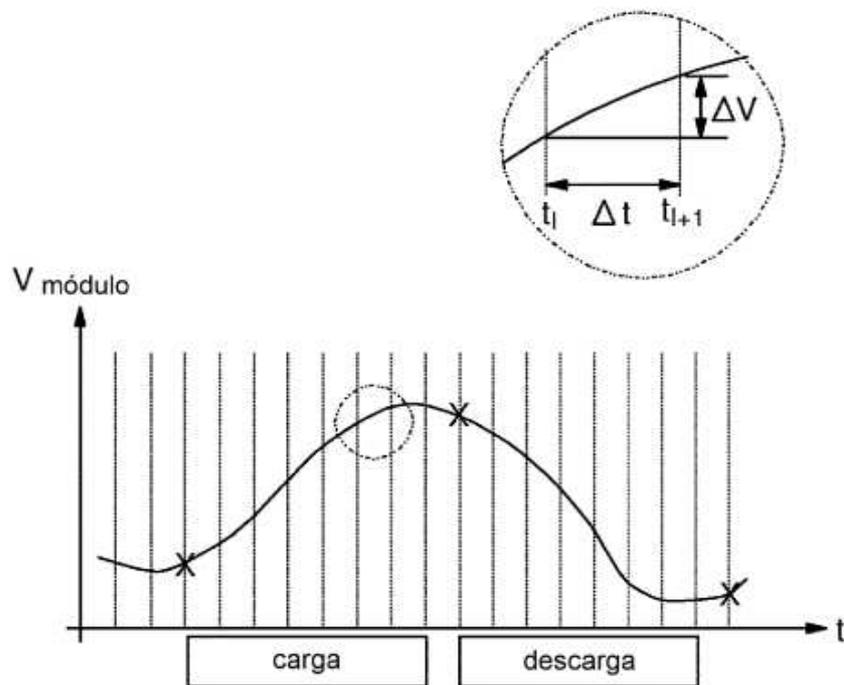


FIG. 5

