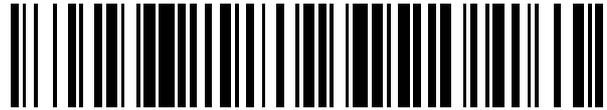


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 570**

51 Int. Cl.:

G02F 1/163 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.01.2009 E 09000003 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2013 EP 2161615**

54 Título: **Proceso y aparato para conmutar dispositivos electrocrómicos de gran área**

30 Prioridad:

04.09.2008 EP 08015638

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

17.01.2014

73 Titular/es:

**ECONTROL-GLAS GMBH & CO. KG (100.0%)
GLASERSTRASSE 1
93437 FURTH IM WALD, DE**

72 Inventor/es:

MATTHEWS, JEREMY, DR.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 438 570 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

Proceso y aparato para conmutar dispositivos electrocrómicos de gran área

Campo del Invento

5 El presente invento se refiere a un método y un sistema para conmutar un dispositivo electrocrómico de gran área. En particular, invento se refiere un método para conmutar dispositivos electrocrómicos de tal manera que se aplican tensiones seguras, mientras optimiza simultáneamente la velocidad de conmutación y la homogeneidad de la transmisión óptica.

Antecedentes del Invento

10 Los materiales electrocrómicos sufren un cambio en las propiedades ópticas cuando los iones y electrones son insertados en ellos bajo la influencia de un campo eléctrico. Un dispositivo electrocrómico puede ser construido de tales materiales, de tal modo que la transmitancia visual de dicho dispositivo cambia cuando se aplica una tensión entre dos electrodos. Los dispositivos electrocrómicos tiene muchas aplicaciones, incluyendo acristalamiento conmutables (donde la transmisión de calor y luz es regulada de acuerdo con algún esquema), espejos automotores (donde los dispositivos electrocrómicos toma la forma de elementos de presentación para formar imágenes conmutables).

15 La aplicación de materiales electrocrómicos en los acristalamientos de ventanas requiere que los electrodos sean de área grande ($> 1 \text{ m}^2$) y operen a temperaturas que oscilan desde -20° C hasta $+80^\circ \text{ C}$. Estas restricciones sitúan requisitos específicos en los materiales disponibles para la construcción del dispositivo electrocrómico, y afectan a las características de conmutación. La comercialización satisfactoria de dispositivos electrocrómicos como acristalamientos de ventanas requiere una vida útil de conmutación sustancial (> 10 años), suficiente homogeneidad de transmisión óptica
20 y un tiempo de conmutación razonable (< 15 minutos); todos estos factores dependen del algoritmo de conmutación utilizado. La aplicación de tensiones excesivas hace que ocurran reacciones laterales que dan como resultado la degradación del dispositivo y la reducción de la vida útil. La aplicación de potenciales inapropiadamente bajos da como resultado tiempos de conmutación excesivos. La conmutación de dispositivos electrocrómicos debe ser realizada de manera que satisfaga los requisitos esquematizados antes.

25 La vida útil de los dispositivos electrocrómicos depende principalmente de la magnitud de las tensiones aplicadas y de la cantidad de carga insertada en las capas electrocrómicas, los límites para estos parámetros pueden ser determinados fácilmente por experimentación electroquímica. Si el límite de inyección de carga reversible para las capas electrocrómicas es determinado, y las capas no son sobrecargadas durante la conmutación del dispositivo (es decir no se exceden los límites reversibles) es entonces la tensión aplicada la que tiene la mayor influencia en la vida útil del
30 dispositivo.

El rango de tensiones que puede ser aplicado entre las capas de electrodo, sin causar degradación del dispositivo es referido a menudo como el rango de estabilidad redox; la aplicación de tensiones fuera de este rango provoca la degradación del dispositivo reduciendo por ello la vida útil. El rango de estabilidad redox puede ser determinado, por
35 ejemplo, por experimentos de volumetría cíclica a distintas temperaturas. La optimización de la vida útil puede hacerse entonces simplemente limitando la tensión eléctrica entre las capas de electrodo al rango de estabilidad redox para este sistema particular. La dificultad en aplicar se encuentra en el hecho de que la tensión es aplicada generalmente entre dos contactos eléctricos, que están en lados opuestos del dispositivo electrocrómico (como se ha mostrado en la fig. 1).

Las estructuras típicas del dispositivo electrocrómico como es conocido del estado de la técnica comprenden sustratos (usualmente vidrio), capas de electrodo (conductoras eléctricamente), capas electrocrómicas y el electrolito (polímero o inorgánico). Están previstos los contactos eléctricos a las capas de electrodo.

Cuando se aplica una tensión entre los contactos (tensión de contacto, U_{AB}), un campo eléctrico distribuido es generado entre las capas de electrodo. La resistividad de las capas de electrodo es relativamente alta comparada con conductores metálicos (aprox. $10 - 20 \text{ Ohm/sq}$) lo que da como resultado en una caída de tensión significativa a través de cada una de las capas de electrodo. La diferencia de potencial resultante entre las capas de electrodo en un punto dado x ($U_f(x)$),
45 es entonces una función de desplazamiento del punto x desde los contactos de electrodo. Si una celda electrocrómica tiene solamente dos contactos no es posible medir directamente la tensión entre las capas de electrodo $U_f(x)$. Con el fin de asegurar que la tensión entre las capas de electrodo está dentro del rango de estabilidad redox, es necesario estimar $U_f(x)$ o medirla directamente (en cuyo caso se requieren al menos tres contactos).

La distribución de tensión descrita antes es tal que $U_f(x)$ es el más adyacente a los contactos de celda, y está a la mitad más baja entre los contactos de celda. Esto hace que la conmutación (coloración y decoloración) ocurra más rápido en los bordes de la celda (cerca de los contactos) que en el centro del dispositivo (entre los contactos); el así llamado "efecto de borde". Como la tensión entre las capas de electrodo es mayor en los bordes en contacto de la celda, no es necesario simular la distribución de tensión sobre la celda completa, es suficiente correlacionar la tensión aplicada a los contactos de celda con la tensión máxima ($U_{f,max}$) generada entre las capas de electrodo. La tensión aplicada puede a continuación ser limitada consecuentemente, asegurando por ello que la máxima tensión $U_{f,max}$ generada entre las capas de electrodo permanece dentro de los límites seguros del redox.

La conmutación con corrientes elevadas permite una respuesta más rápida y por lo tanto tiempos de conmutación inferiores, sin embargo da como resultado una mayor falta de homogeneidad de transmisión. La distribución de tensiones eléctricas entre las capas de electrodo de una celda depende inherentemente de la resistencia de las capas de electrodo y de la corriente de la celda. Corrientes elevadas provocan una caída de potencial interno mayor a través de las capas de electrodo, lo que da como resultado una distribución de tensión menos homogénea. Con el fin de conmutar dispositivos electrocrómicos con transmisión óptica más homogénea, es entonces útil limitar la corriente de la celda, sin embargo el tiempo de conmutación resulta inaceptablemente largo si la corriente es demasiado baja. La conmutación rápida y la conmutación homogénea son entonces objetivos mutuamente competitivos, y debe encontrarse un equilibrio entre las dos con el fin de optimizar las características de conmutación. Es entonces inherentemente necesario ser capaz de controlar la corriente de celda con el fin de conmutar celdas con velocidades razonables y homogeneidad de transmisión.

El documento WO9837453 describe un método para conmutar dispositivos electrocrómicos, de acuerdo con el cual el preámbulo de la reivindicación de patente es formulado. Este método implica conmutar un dispositivo electrocrómico aplicando una rampa de tensión desde cero voltios hasta un límite predeterminado dependiente de la temperatura predeterminada ' U_{max} '. La corriente es medida de forma continua durante la rampa de tensión, y la resistencia total de la celda ' R_{ges} ' es calculada a partir de los datos de tensión y de corriente. La tensión efectiva en las capas electrocrómicas ' U_{eff} ' es calculada a partir de la tensión aplicada, la corriente de celda y la resistencia total (' R_{ges} '). La tensión es aplicada de tal manera que ' U_{max} ' y ' U_{eff} ' están limitadas a límites predeterminados dependientes de la temperatura, hasta que el estado óptico/de carga deseado es obtenido.

Este método tiene las siguientes desventajas:

1. La aplicación de la tensión de acuerdo con este método se basa en la resistencia total de la celda (' R_{ges} '), que es descrita como la suma de todas las resistencias óhmicas, entre los contactos de celda. El método teoriza que esta resistencia puede ser utilizada para asegurar que los límites de tensión electroquímica seguros no son excedidos, durante la conmutación. La resistencia total de la celda incluye series de resistencias desde cables, capas de electrodo, capas electrocrómicas y electrolitos. Sin embargo, se ha mostrado experimentalmente que esta teoría no funciona en la práctica, y el uso de la resistencia ' R_{ges} ' controlando la conmutación de dispositivos electrocrómicos da como resultado la aplicación de tensiones que exceden significativamente los límites electroquímico seguros.

2. El método implica el cálculo de la tensión efectiva en las capas electrocrómicas ' U_{eff} ', que no corresponden con una cantidad física discreta. Se ha supuesto que limitar la tensión aplicada de acuerdo a ' U_{eff} ', impedirá que ocurra la degradación. En realidad, limitar la tensión aplicada de acuerdo a ' U_{eff} ' da como resultado tensiones entre las capas de electrodo que exceden significativamente de los límites seguros de estabilidad redox.

3. El método no permite la optimización de homogeneidad de transmisión o velocidad de conmutación cuando la corriente no es controlada.

4. El método solamente permite la conmutación entre estados completamente coloreados y decolorados.

El documento EP 0 475 847 B1 describe un método para conmutar un dispositivo electrocrómico aplicando en primer lugar un pequeño impulso de tensión, durante cuyo tiempo la corriente es medida y utilizada para estimar la temperatura y por lo tanto seleccionar una tensión de conmutación final apropiada. La conmutación es llevada a cabo bajo tensión constante hasta que o bien la densidad de corriente alcanza algún límite de umbral predeterminado, la densidad de carga alcanza 10 mC/cm^2 o bien el nivel de transmisión deseado es alcanzado. Este método proporciona también provisiones para la conmutación de un dispositivo electrocrómico con tres electrodos, por lo cual se aplica una tensión a dos contactos de electrodo (contactos 1 y 2), de tal manera que la tensión entre los contactos 2 y 3 permanece constante.

Este método no permite la optimización de homogeneidad de transmisión o velocidad de conmutación cuando la corriente no es controlada. El uso de dispositivos electrocrómicos con tres contactos permite que la tensión entre las capas electrocrómicas sea controlada de forma precisa y segura, siempre que los límites seguros de redox no sean excedidos. Tales dispositivos son desventajosos sin embargo, debido a que el proceso de producción es excesivamente complicado ya que los sustratos deben ser cortados al tamaño correcto y enmascarados antes de revestirlos (permitir para el tercer contacto), incrementando por ello el tiempo de producción y el coste financiero.

El documento EP 0 718 667 A1 describe un sistema para dispositivos electrocrómicos de conmutación con dos contactos, que utiliza una unidad controladora con interfaz de usuario, un generador de energía, un sensor de temperatura, etc. Esta patente detalla métodos para conmutar utilizando o bien tensión constante o bien corriente constante, con condiciones específicas y criterio de seguridad previstos para cada método. El método de tensión constante implica la aplicación de una tensión predeterminada dependiente de la temperatura a la celda hasta que o bien la densidad de carga requerida es alcanzada o bien la corriente cae por debajo de algún valor de umbral. El método de corriente constante implica la aplicación de la corriente hasta que o bien la densidad de carga requerida es alcanzada o bien la corriente cae por debajo de algún valor de umbral. El segundo diferencial de tensión con respecto al tiempo es calculado de modo continuo, y el punto de ajuste de corriente es reducido (reducido a la mitad) si éste excede de algún límite predeterminado.

Este método tiene la desventaja de que limita o bien la corriente o bien la tensión de la celda, y no ambos. La operación

de corriente constante descrita en este método puede ser utilizada para optimizar la velocidad de conmutación y la homogeneidad de transmisión, sin embargo no asegura que las tensiones entre las capas de electrodo estén dentro de los límites redox seguros. La tensión generada entre las capas de electrodo puede ser controlada utilizando un sistema de 3 electrodos, sin embargo esto aumenta la complejidad y los gastos. La reducción en la corriente aplicada del 50% basado en el segundo diferencial de tensión con respecto al tiempo es una solución novedosa, sin embargo no garantiza que los límites seguros de redox no serán excedidos. El método de tensión constante no permite el control de la corriente de la celda, por lo tanto no puede permitir la optimización de la velocidad de conmutación y de la homogeneidad de transmisión simultáneamente.

El documento US 7 277 215 B2 describe un sistema para conmutar dispositivos electrocromáticos con tres contactos de electrodo. Dos de los electrodos son utilizados para la conmutación de celda y los otros dos son utilizados para la detección del calentamiento y/o rotura. El microcontrolador utiliza una variedad de técnicas AC/DC para colorear y decolorar el dispositivo, medir la temperatura, calentar el dispositivo y detectar la rotura mecánica del panel. El controlador utiliza un circuito interno que es hecho corresponder con las condiciones externas con el fin de calcular la fuga de corriente y ajustar los parámetros de conmutación consiguientemente. Este sistema es extremadamente complicado y requiere que los circuitos internos del controlador correspondan bien con las propiedades específicas del dispositivo EC. El sistema descrito ofrece una solución novedosa a los problemas relacionados con la fuga de corriente en dispositivos EC con conductores de iones inorgánicos, sin embargo es indudablemente complejo para sistemas con conductores iónicos orgánicos.

El documento EP 1 517 293 A1 describe un proceso para conmutar un dispositivo electrocromático aplicando dinámicamente una tensión que incluye la compensación para resistencias de las capas de óxido de conducción transparente y para el electrolito. La resistencia del electrolito es determinada aplicando un impulso de tensión corto y midiendo la corriente, en que la resistencia es a continuación calculada por la ley de Ohm.

A pesar de estos avances, existe una necesidad para un método de conmutación para dispositivos electrocromáticos que:

1. asegure que el potencial entre las capas de electrodos está siempre entre los límites seguros de redox, incluso para dispositivos con dos contactos de electrodo;
2. permite la optimización de la velocidad de conmutación y de la homogeneidad de transmisión, mediante la limitación de la corriente de la celda aplicada.

Resumen del Invento

El presente invento resuelve los problemas identificados en la técnica anterior como se ha descrito antes. El objeto del presente invento es proporcionar un método para conmutar un dispositivo electrocromático que asegura que las tensiones entre electrodos de película están siempre entre los límites seguros de redox, lo que permite simultáneamente la optimización de la homogeneidad de transmisión y la conmutación de velocidad imitando la corriente de la celda.

Con el fin de conmutar un dispositivo electrocromático de una forma segura, es crucial que la tensión aplicada entre los electrodos no exceda de los límites seguros de redox. Estos límites pueden ser predeterminados a partir de estudios electroquímicos, por ejemplo voltametría cíclica. Desgraciadamente, no es posible normalmente medir la tensión entre las capas de electrodo directamente, debido a que los dos contactos de electrodo están en lados opuestos de la celda. Es entonces posible solamente medir directamente la tensión de contacto aplicada U_C y estimar la tensión entre las capas de electrodo. La tensión entre las capas de electrodo varía significativamente sobre el área de la celda dependiendo de la distancia de los dos contactos de electrodo, sin embargo la mayor diferencia de potencial entre capas de electrodo ocurre siempre en los bordes de la celda, adyacente a los contactos de electrodo. Entonces no es necesario conocer la distribución de tensión completa de la celda bajo un conjunto de condiciones dado; es suficiente conocer la tensión máxima entre las capas de electrodo y asegurarse de que ésta está dentro de los límites electroquímico seguros, con el fin de conmutar un dispositivo de una manera segura, asegurando por ello la vida útil máxima.

Se ha encontrado que la relación entre la tensión de contacto aplicada y la tensión máxima generada entre las capas de electrodo puede ser descrita por una simple ecuación, que implica la corriente de celda y una resistencia constante. Esta resistencia depende solamente de la anchura y altura de la celda y de las propiedades del material de la capa de electrodo. Esta resistencia es casi independiente de la temperatura, por lo tanto no resulta afectada por la conductividad del electrolito. Esto es ventajoso, porque no es necesario conocer la conductividad del electrolito con el fin de asegurar que las tensiones seguras son generadas entre las capas de electrodo.

La tensión aplicada a los contactos de celda es distribuida a través de las capas de electrodo debido a la naturaleza resistiva de las capas de electrodo (véanse antecedentes del invento). Puede mostrarse sin embargo que la tensión máxima $U_{f,max}$ generada entre las capas de electrodo (es decir la que ocurre en los bordes de la celda adyacente a los contactos de electrodo) puede ser calculada utilizando la fórmula:

$$U_{f,max} = U_C - i_C R_{eff} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde U_C es el potencial aplicado a los contactos de la celda, i_C es la corriente de la celda y R_{eff} puede ser calculado a

partir de las dimensiones de la celda como sigue:

$$R_{Eff} = \left(\frac{w}{h}\right) \times k \quad \text{Ecuación 2}$$

donde w y h son la anchura y la altura de la celda en centímetros, donde la altura corresponde a la longitud de los bordes de la celda contactados. k es una constante que es representativa del material utilizado para la capa de electrodo en dispositivos electrocrómicos (independiente de las dimensiones del dispositivo). La resistencia efectiva es una constante que se refiere a la tensión aplicada a los contactos de la celda U_C , a la tensión máxima $U_{f,max}$ generada entre las capas de electrodo. La resistencia efectiva es una función de las dimensiones de celda y necesita ser calculada solamente una vez, preferiblemente antes del comienzo del proceso de conmutación. El cálculo de un único valor para la resistencia efectiva requiere solamente que la anchura y la altura del dispositivo, así como la constante k del material sean conocidas, y proporciona un enlace concreto entre la tensión de contacto de la celda aplicada y la tensión máxima entre las capas de electrodo.

La tensión máxima entre las capas de electrodo no puede ser controlada directamente, ya que solo la tensión aplicada a los contactos de celda puede ser controlada. Es posible sin embargo limitar de forma indirecta a la tensión entre las capas de electrodo, limitando la tensión de los contactos de la celda (U_C) apropiadamente. Si el límite seguro de redox seguro U_{EC} es predeterminado para un proceso de conmutación dado (coloración o decoloración), entonces la tensión de contacto aplicada puede ser limitada apropiadamente utilizando el siguiente cálculo:

$$U_{C,max} = U_{EC} + i_C R_{Eff} \quad \text{Ecuación 3}$$

Si la tensión aplicada en los contactos de celda U_C es mantenida por debajo del límite máximo $U_{C,max}$, entonces se asegura de forma indirecta que la tensión máxima $U_{f,max}$ entre las capas de electrodo no excede de su límite seguro de redox U_{EC} correspondiente.

De acuerdo con el invento, se hace una previsión de que la tensión de celda U_C y la corriente ' i_C ' que fluye a través del dispositivo sean medidas de manera continua. La tensión eléctrica es aplicada a los contactos del dispositivo en la forma de una rampa escalonada, comenzando a una tensión fija y aumentada en incrementos de tensión predeterminados, U_{step} (10-100 mV) hasta que se satisfacen las condiciones específicas. La rampa de tensión escalonada es aplicada de tal manera que asegure que se cumplen dos criterios:

1. La tensión máxima entre las capas de electrodo $U_{EC,max}$ no excede del límite electroquímico seguro U_{EC} dependiente de la temperatura.
2. La corriente de la celda no excede el límite i_{max} predeterminado (dependiente de la temperatura).

De acuerdo con el invento, la tensión aplicada es solamente aumentada si la corriente de la celda es menor que una corriente de celda máxima i_{max} , determinada de acuerdo con

$$i_{max} = j_{max} \times Area + (T - T_0) \times F$$

Donde j_{max} es una densidad de corriente máxima predeterminada, Área es el área de celda activa, T es la temperatura del elemento electrocrómico, y T_0 es una temperatura de referencia, permitiendo por ello el factor F la modificación de la corriente de acuerdo con la temperatura, permitiendo por ello la modificación de la velocidad de conmutación con respecto a la temperatura.

El uso de una tensión eléctrica constante en este método permite que los dispositivos electrocrómicos sean conmutados con tensiones que son mantenidas siempre dentro de los límites seguros de redox. El uso de un límite de corriente permite que la velocidad de conmutación y la homogeneidad de transmisión sean optimizadas. Este proceso puede estar dividido en distintas etapas que pueden ser descritas mejor con referencia los dibujos adjuntos.

Breve Descripción de los Dibujos

La fig. 1 muestra una vista en sección transversal de un dispositivo electrocrómico de acuerdo con el invento.

La fig. 2 muestra un diagrama de bloques para una unidad controladora, que muestra la medición y los parámetros de control requeridos para la conmutación de un dispositivo electrocrómico de acuerdo con el invento.

La fig. 3 muestra un diagrama de flujo para el algoritmo de conmutación definido por el invento.

La fig. 4 muestra un gráfico que ilustra las características de conmutación (tensión, corriente y densidad de carga) durante la coloración y decoloración de un dispositivo electrocrómico de acuerdo con el invento.

La fig. 5 muestra el mismo gráfico que en la fig. 4, vuelto a escalar sin embargo para mostrar solamente los primeros 80 segundos de coloración.

Descripción Detallada del Invento

La fig. 1 muestra una vista en sección transversal de un dispositivo electrocrómico típico. Un sustrato de vidrio 1 es revestido con una primera capa de electrodo 2, sobre la que es revestida una primera capa 3 en la cual los iones pueden ser insertados de forma reversible. La primera capa 3 en que los iones pueden ser insertados de forma reversible es electrocrómica por naturaleza. Una capa 4 conductora de iones separa la primera capa en la cual los iones pueden ser insertados de forma reversible, de la segunda capa 5 en la cual los iones pueden ser insertados de forma reversible. La capa 4 conductora de iones puede ser un polímero orgánico, sin embargo no está restringido a tales materiales. La segunda capa 5 en la cual los iones pueden ser insertados de forma reversible actúa como un electrodo contrario a la primera capa 3 en la cual los iones pueden ser insertados de forma reversible, y puede ser o no de naturaleza electrocrómica. La estructura en capas del dispositivo es completada por un segundo sustrato de vidrio 7 que está revestido con una segunda capa de electrodo 6. Las capas de electrodo 2, 6 están provistas con contactos eléctricos (A y B) entre los cuales puede ser aplicada una tensión eléctrica.

La fig. 2 muestra un diagrama de bloques simplificado del hardware requerido para la conmutación de un dispositivo electrocrómico de acuerdo con el invento. Una tensión es generada por una fuente de tensión adecuada (U), y puede ser aplicada a contactos de la celda A y B mediante relés de conmutación adecuados. La fuente de tensión puede incluir también un medio para medir la tensión aplicada, siendo enviados de nuevo a continuación los valores medidos a un controlador para su análisis. Se hace provisión para que la corriente de la celda sea medida de modo continuo mediante el uso de un amperímetro adecuado, siendo enviados los valores medidos al controlador en una base cíclica. La medición de la temperatura del dispositivo electrocrómico es proporcionada mediante el uso de un sensor de temperatura, que puede ser incorporado a la estructura del dispositivo electrocrómico. La magnitud de la tensión eléctrica que ha de ser aplicada a los contactos de la celda es calculada por el controlador basándose en los valores de temperatura, los límites de tensión electroquímica (límites seguros de redox) y la corriente de la celda. El controlador controla el proceso de conmutación completo basándose en el uso de un algoritmo específico que es detallado a continuación. El controlador es capaz por tanto de realizar cálculos de acuerdo con el algoritmo de conmutación descrito más adelante, utilizando preferiblemente un microprocesador para el control de software. El software del controlador permite también el cálculo de la densidad de carga, por integración de la corriente medida con respecto al tiempo. Tal controlador ha sido descrito previamente en el documento WO0067070.

La conmutación del dispositivo electrocrómico (modificación de transmisión del dispositivo) es realizada controlando la tensión eléctrica aplicada a los contactos A y B de acuerdo con un algoritmo específico, como se ha detallado en la fig. 3. La tensión eléctrica aplicada a los contactos del dispositivo electrocrómico durante la conmutación está limitada de tal manera que se satisfagan dos condiciones:

I. La tensión máxima generada entre las capas de electrodo ($U_{f,max}$) no excede del límite seguro de redox dependiente de la temperatura (U_{EC}).

II. La tensión eléctrica aplicada es aumentada de manera escalonada, solamente cuando la corriente de la celda medida está por debajo de un límite predeterminado dependiente de la temperatura.

El algoritmo de conmutación de acuerdo con el invento es descrito más adelante con la ayuda de referencias a la fig. 3. Distintos parámetros correspondientes al dispositivo electrocrómico debe ser guardados en la memoria del controlador antes de que el proceso de conmutación pueda ser comenzado. Los parámetros necesarios incluyen:

- Altura y anchura del dispositivo electrocrómico;
- Constante de resistencia para las capas de electrodo;
- Límites electroquímicos seguros (U_{EC}) para los procesos de coloración y decoloración;
- Límite máximo de corriente (calculado de acuerdo con las consideraciones de tiempo de conmutación/homogeneidad de transmisión);
- Tamaño del escalón de tensión (U_{step});
- Corriente mínima (i_{min});

1. Un proceso de conmutación (coloración o decoloración) es comenzado cuando la consigna de transmisión es cambiada. Esta acción puede ser realizada por una interacción del usuario (por ejemplo apretando un botón en el controlador) o por un sistema de control remoto (por ejemplo mediante un comando de software desde un ordenador de control). La densidad de carga (Q_{set}) correspondiente al valor de ajuste de transmisión deseado es determinada preferiblemente bien por cálculo directo o bien por interpolación de una tabla de búsqueda. La densidad de carga deseada es comparada con la densidad de carga real, y por consiguiente la operación designada como coloración o decoloración. La tensión de circuito abierto del dispositivo electrocrómico es medida, y esta tensión es aplicada entonces a los contactos de la celda.

2. La tensión y la corriente de la celda son medidas y la densidad de carga es calculada a partir de los datos de corriente-tiempo (o medida directamente con electrónica integradora). La tensión de la celda máxima $U_{C,max}$ segura es calculada a partir de la Ecuación 3 como se ha indicado anteriormente.

5 3. Estado de limitación de carga: La conmutación puede continuar solamente hasta que se haya alcanzado la densidad de carga deseada. El controlador compara la densidad de carga actual con la densidad de carga deseada (Q_{set}), y fuerza la terminación del proceso de conmutación cuando se ha alcanzado la densidad de carga deseada.

4. Estado 1 de limitación de corriente: La tensión aplicada puede ser aumentada solamente si la corriente de la celda es menor que la corriente de celda máxima (i_{max}) determinada de acuerdo con la ecuación $i_{max} = j_{max} \times Area + (T - T_0) \times F$, donde j_{max} es una densidad de corriente máxima predeterminada, $Área$ es el área de celda activa, T es la temperatura del elemento electrocrómico, y T_0 es una temperatura de referencia, permitiendo por ello el factor F la modificación de la corriente de acuerdo con la temperatura, permitiendo por ello la modificación de la velocidad de conmutación con respecto a la temperatura. El controlador compara la corriente medida con el límite de corriente máxima; la tensión aplicada puede ser aumentada solamente si la corriente de celda está por debajo del límite máximo. Si la corriente de la celda está por encima del límite de corriente máxima, el proceso vuelve a la operación 2 anterior. La corriente de la celda disminuye rápidamente bajo tensión constante, permitiendo solamente por ello que la corriente de la celda exceda del límite i_{max} durante un corto período de tiempo y por una pequeña cantidad (típicamente unos pocos miliamperios).

5. Estado 1 de limitación de tensión: El algoritmo asegura que la tensión entre los electrodos de película no excede del límite electroquímico seguro, limitando la tensión de contacto de la celda aplicada U_C al límite máximo seguro $U_{C,max}$ determinado utilizando la Ecuación 3 en la operación 2 anterior. Si el límite máximo de tensión seguro $U_{C,max}$ no ha sido alcanzado aún, entonces la tensión de la celda aplicada es aumentada por el escalón de tensión predeterminado U_{step} y la operación 3 sigue;

$$\text{es decir } U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step}$$

donde $U_{C,f}$ y $U_{C,i}$ son tensiones final e inicial respectivamente. Si el límite máximo de tensión seguro $U_{C,max}$ ha sido alcanzado, entonces el proceso continúa a la siguiente operación (estado 2 de limitación de corriente, operación 6)

6. Estado 2 de limitación de corriente: Se permite que el proceso de conmutación continúe hasta que sea alcanzada la corriente de celda mínima predeterminada (i_{min}). La corriente de celda es proporcional a la velocidad de conmutación; por tanto este estado termina el proceso de conmutación una vez que la velocidad del proceso falla por debajo de algún límite aceptable. Este límite puede estar definido como una corriente absoluta en miliamperios, o más convenientemente como un porcentaje de la corriente de celda máxima i_{max} .

7. Estado 2 de limitación de tensión: Este estado ocurre solamente cuando la tensión máxima ha sido ya alcanzada; la conmutación está entonces teniendo lugar bajo tensión constante U_C y la corriente está disminuyendo. La corriente decreciente causa una disminución en el límite máximo de tensión seguro $U_{C,max}$ de acuerdo con la Ecuación 3 anterior. La tensión de celda aplicada puede entonces exceder en último lugar del límite máximo seguro cuando disminuye la corriente; en este caso la tensión aplicada es reducida por el escalón de tensión predeterminado U_{step} y la operación 2 sigue;

$$\text{es decir } U_{C,f} = U_{C,i} - U_{step}$$

donde $U_{C,f}$ y $U_{C,i}$ son las tensiones final e inicial respectivamente. Si el límite máximo de tensión seguro $U_{C,max}$ no ha sido alcanzado, entonces el proceso vuelve a la operación 2.

El proceso de conmutación es terminado, o bien cuando se obtiene la densidad de corriente deseada, o bien cuando se alcanza el límite de corriente mínima. Este procedimiento es idéntico generalmente para coloración o para decoloración, sin embargo los límites de tensión seguros apropiados deben ser aplicados de acuerdo con la dirección de conmutación (coloración o decoloración). Para asegurar la decoloración completa, la tensión de contacto máxima segura $U_{C,max}$ puede ser aplicada durante un período de tiempo más largo después de que se haya alcanzado la corriente mínima; esto es ventajoso en el caso en que las corrientes de celda son bajas, tales como para dispositivos electrocrómicos de área pequeña, especialmente operando a temperatura baja, en particular donde la resolución de la medición de corriente se encuentra cerca del límite de corriente mínima. En tales casos, es útil aumentar el tiempo de decoloración de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta t_{Bt} = (T_{lim} - T) \times F$$

Donde Δt_{Bt} es el tiempo de decoloración adicional, y corresponde a una extensión del tiempo de decoloración después de que se haya alcanzado la densidad de corriente mínima. T es la temperatura del dispositivo y T_{lim} es la temperatura límite (máxima), para la cual el proceso de decoloración debería ser prolongado. Z es un factor apropiado que designa cuánto tiempo debería prolongarse el proceso de decoloración, para cada grado Celsius por debajo de la temperatura límite. Como ejemplo, considérese un dispositivo electrocrómico que decolora a 5° C por lo que la temperatura límite T_{lim} y

el factor de temperatura Z tienen valores de 10° C y 30 s/° C respectivamente. La corriente que fluye durante la decoloración del dispositivo será relativamente baja ya que el transporte de iones es lento a temperatura baja, por tanto el límite de corriente mínima calculado puede caer por debajo de la resolución del dispositivo de medición de corriente. En este caso, se permite que el proceso de decoloración ocurra hasta que sea alcanzado el límite de corriente mínima, y la prolongación del tiempo de decoloración es calculada de acuerdo con:

$$\Delta t_{\text{bt}} = (T_{\text{lim}} - T) \times Z = (10 - 5) \times 30 = 150s$$

La tensión máxima de contacto seguro $U_{c,max}$ es aplicada a continuación durante otros 150 s después de que se haya alcanzado la corriente mínima, asegurando por ello que el dispositivo es completamente decolorado, independientemente de la temperatura o resolución de la medición de corriente. Al final del proceso de decoloración, el contador de carga es repuesto a cero lo cual corrige entonces cualesquiera errores con la medición de carga durante el proceso de decoloración prolongado, lo que puede ser provocado por la resolución de la medición de corriente.

Ejemplos

El invento será explicado adicionalmente utilizando como ejemplo la conmutación de un dispositivo electrocrómico de 40 x 80 cm², desde un estado completamente decolorado a coloreado. Antes de que comience la conmutación, los parámetros relevantes son guardados en la memoria del controlador. Los parámetros relevantes son los siguientes:

1. Altura del dispositivo electrocrómico (longitud de los bordes contactados) = 40 cm
2. Anchura del dispositivo electrocrómico (longitud de los bordes no contactados) = 80 cm
3. Constante de resistencia para capas de electrodo (k) = 10 Ohm
4. Densidad de corriente máxima (j_{max}) = 33,3 μA/cm², como se ha calculado de acuerdo con

$$j_{\text{max}} = \left(\frac{Q_{\text{max}}}{\text{Tiempo}} \right) = \frac{20 \text{ mC}}{600s \text{ cm}^2} = 33,3 \frac{\mu A}{\text{cm}^2}$$

Donde Q_{max} es la densidad de carga máxima correspondiente al estado completamente coloreado y (*Tiempo*) es el tiempo de conmutación deseado.

5. La corriente máxima (i_{max}) es calculada de acuerdo con

$$i_{\text{max}} = (j_{\text{max}} \times \text{Area}) + (T - T_0) \times F = \left(33,3 \frac{\mu A}{\text{cm}^2} \times 3200 \text{ cm}^2 \right) + (T - T_0) \times F = 107 \text{ mA}$$

suponiendo F=0 en este ejemplo, con objeto de simplicidad

6. Límite de tensión de coloración seguro ($U_{ec,col}$) = +3,00 V a 0° C
7. Resistencia efectiva del dispositivo electrocrómico, como se calcula utilizando la Ecuación 2:

$$R_{E\text{ff}} = \left(\frac{w}{h} \right) \times k = \left(\frac{40}{80} \right) \times 10 = 20 \Omega$$

8. Escalón de tensión (U_{step}) = 20 mV.

9. Límite de tensión de decoloración seguro = -2,90 V a 0° C.

10. Límite mínimo de corriente = 10% de la corriente máxima.

Los siguientes convenios serán utilizados en este ejemplo con propósito de claridad. La coloración es efectuada a aumentando la tensión de la celda en una dirección positiva, una corriente positiva asociada fluye y hay un incremento correspondiente en la densidad de la carga. Disminuir la tensión (en una dirección negativa) entonces hace que ocurra la decoloración, y que fluya una corriente negativa, y se obtiene como resultado una disminución de la densidad de carga. Los estados completamente decolorado y coloreado corresponden a densidades de carga de 0 y 20 mC/cm² respectivamente. La fig. 4 muestra las características de conmutación para este ejemplo, de acuerdo con el invento.

Cuando el comando de conmutación es recibido (procedente del usuario o como comando remoto), el controlador calcula la densidad de carga correspondiente al estado de transmisión deseado. Si el usuario selecciona el estado completamente coloreado, entonces la densidad de carga deseada es 20 mC/cm² en este ejemplo. El controlador compara a continuación la densidad de carga momentánea (0 mC/cm², completamente decolorado) con la densidad de carga deseada (20 mC/cm², completamente coloreado) y designa la operación de conmutación como coloración.

La tensión de circuito abierto (ocp) del dispositivo electrocrómico es entonces medida (tensión por corriente cero) y el controlador hace entonces que la fuente de tensión emita la tensión de contacto de la celda (U_C), igual a la ocp de la celda medida. En el caso de este ejemplo, la ocp era de $-0,382\text{ V}$.

- 5 El controlador lee entonces la temperatura del dispositivo electrocrómico desde el sensor de temperatura (45 °C en este ejemplo) y calcula el límite electroquímico seguro para la coloración de acuerdo con:

$$U_{EC} = a + bT = 3,0V - 0,01 \frac{V}{\text{°C}} \times 45\text{°C} = 2,55V$$

donde T es la temperatura del elemento electrocrómico y a y b son constante relacionadas con el diseño del dispositivo electrocrómico.

- 10 La corriente inicial es 0 mA (después de la aplicación de la ocp a los contactos de la celda) y la $U_{C,max}$ es calculada a continuación por el controlador de acuerdo con

$$U_{C,max} = U_{EC} + i_C R_{E,ff} = 2,55V + (0A \times 10\Omega) = 2,55V$$

Como la tensión de contacto inicial es inferior que la tensión de contacto máxima calculada, y la corriente es inferior que la corriente máxima calculada, la tensión de contacto es aumentada a continuación utilizando la ecuación

$$U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step} = -0,382V + 0,002V = -0,362V$$

- 15 La tensión de contacto aplicada es a continuación incrementada inicialmente de una manera escalonada (repitiendo los Escalones 2 a 4 en la fig. 2), hasta que es alcanzada la corriente máxima, hasta que el límite máximo de tensión es aplicado o hasta que es obtenida la densidad de carga deseada. Si la densidad de carga deseada es obtenida, entonces el controlador termina el proceso de conmutación y desconecta el dispositivo electrocrómico de la fuente de tensión. Si la corriente máxima es alcanzada, la tensión permanece constante hasta que la corriente decae por debajo del límite máximo i_{max} . La tensión aplicada es a continuación incrementada de manera escalonada, hasta que es alcanzado el límite potencial máximo $U_{C,max}$.
- 20

- En el ejemplo mostrado en las figs. 3 y 4, la tensión de celda aplicada es incrementada en escalones de 20 mV hasta que es alcanzado el límite de corriente de celda de 107 mA , después de aproximadamente 15 segundos . La corriente de tensión de contacto de celda aplicada en este momento es de $2,58\text{ V}$, sin embargo la tensión máxima generada entre el electrodo de solamente $0,44\text{ V}$. Esto se calcula de acuerdo con la ecuación:
- 25

$$U_{f,max} = U_C - i_C R_{E,ff}$$

La corriente de celda es mantenida entonces aproximadamente constante, incrementando solamente la tensión de contacto de la celda cuando la corriente cae por debajo de los 107 mA . Durante este tiempo, la tensión de contacto de celda máxima $U_{C,max}$ es calculada de modo continuo por el controlador de acuerdo con

- 30
$$U_{C,max} = U_{EC} + i_C R_{E,ff} = 2,55V + (0,107A \times 20\Omega) = 4,69V$$

La tensión de contacto de la celda U_C es a continuación incrementada en escalones de 20 mV de acuerdo con

$$U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step}$$

hasta que han pasado aproximadamente 510 segundos , en cuyo instante es alcanzado el límite máximo de tensión $U_{C,max}$.

- 35 Una vez que el límite máximo de tensión $U_{C,max}$ es alcanzado, la tensión de la celda aplicada es mantenida constante y la corriente disminuye cuando la reacción electrocrómica se ralentiza. El límite máximo de tensión $U_{C,max}$ es recalculado sobre una base cíclica (varias veces por segundo) y se reduce cuando disminuye la corriente de celda. Es entonces posible que la tensión de contacto de la celda U_C excederá del límite máximo de tensión $U_{C,max}$ durante el final de la coloración o decoloración; en este caso la tensión de contacto aplicada debe ser reducida de una manera escalonada de acuerdo con
- 40

$$U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step}$$

El proceso de conmutación es terminado por el controlador cuando la densidad de carga deseada es obtenida, en este caso 20 mC/cm^2 .

- 45 En el ejemplo mostrado en la fig. 4, la corriente de la celda decae bajo la tensión constante desde aproximadamente 510 segundos , y la tensión de contacto de celda aplicada es reducida de manera adecuada, manteniendo de forma efectiva la tensión máxima entre las capas de electrodo $U_{f,max}$ a su límite constante de $2,55\text{ V}$ dependiente de la temperatura. La

densidad de carga deseada de 20 mC/cm^2 es alcanzada después de un tiempo de coloración total de 632 s, en cuyo instante el dispositivo electrocrómico es desconectado eléctricamente de la fuente de tensión. Después de una pausa de 20 segundos, el dispositivo electrocrómico es decolorado de una manera similar al proceso de coloración descrito antes, como sigue:

- 5 1. La temperatura del dispositivo electrocrómico es leída por el controlador, a 45°C .
2. El límite electroquímico seguro para decolorar es calculado por el controlador de acuerdo con:

$$U_{EC} = A + BT = -2,9V + 0,01 \frac{V}{^\circ C} \times 45^\circ C = -2,45V$$

3. El potencial de circuito abierto es medido a $0,950 \text{ V}$.
4. Una tensión de $0,950 \text{ V}$ es aplicada a los contactos del dispositivo electrocrómico.

- 10 5. La tensión del contacto de la celda es disminuida en escalones de 20 mV (es decir potencial escalonado en la dirección negativa), hasta que es alcanzado el límite máximo de corriente de -107 mA .

6. La tensión de contacto de celda máxima $U_{C,max}$ es calculada de modo continuo por el controlador de acuerdo a:

$$U_{C,max} = U_{EC} + i_C R_{E,ff} = -2,45V + (-0.107A \times 20\Omega) = -4,59V$$

- 15 7. La tensión de contacto de celda es disminuida entonces solamente cuando la magnitud de la corriente de la celda cae por debajo de 107 mA , hasta que es alcanzado el límite máximo de tensión $U_{C,max}$ ($-4,59 \text{ V}$, en este caso negativo en magnitud para decolorar).

8. La magnitud de la tensión de contacto aplicada es reducida a continuación de una manera escalonada de acuerdo con

$$U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step}$$

cuando la corriente de celda de decolorar es disminuida.

- 20 9. El proceso de conmutación es terminado por el controlador cuando es alcanzado el límite de corriente mínima de $10,7 \text{ mA}$ ($10\% \times 107 \text{ mA}$). La densidad de carga final es de $0,1 \text{ mC/cm}^2$, y el contador de carga es ajustado a continuación a 0 mC/cm^2 , y el dispositivo electrocrómico es desconectado electrónicamente de la fuente de tensión.

REIVINDICACIONES

1.- Un proceso para conmutar una celda electrocrómica que comprende al menos los siguientes componentes:

una primera capa de electrodo (2) provista con un primer contacto (A) de celda eléctrico y una segunda capa de electrodo (6) provista con un segundo contacto (B) de celda eléctrico;

5 una primera y una segunda capa (3, 5), en las que los iones pueden ser insertados de forma reversible, siendo revestida la primera capa (3) sobre la primera capa de electrodo (2), y siendo revestida la segunda capa (5) sobre la segunda capa de electrodo (6); y

una capa de conducción de iones (4) que separa la primera y segunda capas (3, 5) en las cuales los iones puede ser insertados de forma reversible;

10 donde al menos la primera capa (3), en la que los iones pueden ser insertados reversiblemente, es electrocrómica; y

donde la primera y la segunda capas (3, 5), en la que los iones pueden ser insertados reversiblemente, son electrodos contrarios entre sí;

comprendiendo el proceso las operaciones de:

15 medir de modo continuo la corriente i_c que fluye a través de la celda si se aplica una tensión a las capas de electrodo (2, 6); y

aplicar una tensión U_c a los contactos (A, B) y variar la tensión aplicada como una función de corriente, de tal modo que la tensión U_f generada entre las capas de electrodo (2, 6) es mantenida dentro de los límites de redox predeterminados seguros dependientes de la temperatura, de manera que la corriente de la celda está limitada a límites predeterminados dependientes de la temperatura,

20 caracterizado por que la tensión aplicada es aumentada solamente de manera escalonada si la corriente de la celda es menor que una corriente de celda máxima i_{max} determinada de acuerdo con

$$i_{max} = j_{max} \times Area + (T - T_0) \times F$$

25 donde j_{max} es una densidad de corriente máxima predeterminada, *Área* es el área de celda activa, T es la temperatura del elemento electrocrómico, y T_0 es una temperatura de referencia, permitiendo por ello el factor F la modificación de la corriente de acuerdo con la temperatura, permitiendo por ello la modificación de la velocidad de conmutación con respecto a la temperatura.

2.- Un proceso según la reivindicación 1, caracterizado porque la dependencia de temperatura de los límites redox seguros U_{EC} es calculada de acuerdo con la ecuación:

$$U_{EC} = a + bT$$

30 donde T es la temperatura del elemento electrocrómico y a y b son constantes relacionadas con el diseño del dispositivo electrocrómico.

3.-Un proceso según la reivindicación 1, caracterizado por que la densidad de corriente máxima j_{max} es calculada a partir del tiempo de conmutación deseado, de acuerdo con la ecuación

$$j_{max} = \left(\frac{Q_{max}}{Tiempo} \right)$$

35 donde Q_{max} es la densidad de carga máxima correspondiente al estado completamente coloreado y *Tiempo* es el tiempo de conmutación deseado.

4.- Un proceso según la reivindicación 1, caracterizado por que la resistencia efectiva R_{Eff} de la celda electrocrómica es calculada a partir de las dimensiones de la celda y al menos una constante de material antes de comenzar el proceso de conmutación.

40 5.- Un proceso según la reivindicación 4, caracterizado por que la resistencia efectiva R_{Eff} de la celda electrocrómica es calculada a partir de la anchura de la celda (w), donde la anchura (w) se refiere a una separación entre las tiras de contacto de electrodo de los contactos de la celda (A, B), la altura (h), en que la altura (h) corresponde a una longitud de los bordes contactados de los contactos de la celda (A, B) y al menos una constante de material (k), de acuerdo con la ecuación

$$R_{Eff} = \left(\frac{w}{h} \right) \times k$$

6.- Un proceso según la reivindicación 5, caracterizado por que la tensión máxima $U_{f,max}$ generada entre las capas de electrodo es calculada a partir de la tensión de contacto aplicada U_C , la corriente de la celda i_C y la resistencia efectiva R_{Eff} de la celda electrocrómica.

- 5 7.- Un proceso según la reivindicación 6, caracterizado por que la tensión máxima generada entre las capas de electrodo es calculada de acuerdo con la ecuación

$$U_{f,max} = U_C - i_C R_{Eff}$$

- 10 8.- Un proceso según las reivindicaciones 2 y 7, caracterizado por que la tensión máxima $U_{C,max}$ que puede ser aplicada de forma segura a los contactos de la celda (A, B) es calculada a partir del límite de redox seguro dependiente de la temperatura U_{EC} , de la corriente de la celda i_C , y de la resistencia efectiva R_{Eff} de la celda electrocrómica.

9.- Un proceso según la reivindicación 8, caracterizado por que la tensión máxima que puede ser aplicada de forma segura a los contactos de la celda (A, B) es calculada a partir del límite de redox seguro dependiente de la temperatura U_{EC} , de la corriente de la celda i_C y de la resistencia efectiva R_{Eff} de la celda electrocrómica, de acuerdo con la ecuación

$$U_{C,max} = U_{EC} + i_C R_{Eff}$$

- 15 10.- Un proceso según la reivindicación 1, en el que la tensión de celda aplicada U_C es modificada de una manera escalonada, incrementada para coloración, disminuida para decoloración, siempre que la corriente de la celda permanezca por debajo del límite de corriente predeterminado i_{max} hasta que es alcanzado un límite de tensión de contacto de celda máxima $U_{C,max}$.

- 20 11.- Un proceso según la reivindicación 10, en el que la tensión de celda aplicada es modificada de una manera escalonada hasta que es alcanzado el límite de tensión de contacto de celda máxima $U_{C,max}$, de acuerdo con la ecuación

$$U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step}$$

siendo el tamaño del escalón de tensión U_{step} positivo para la coloración, y negativo para la decoloración, y con las tensiones final e inicial $U_{c,f}$ y $U_{c,i}$.

- 25 12.- Un proceso según la reivindicación 10, en el que la tensión de celda aplicada es modificada de una manera escalonada después de que sea alcanzado el límite de tensión de contacto de celda $U_{C,max}$, de acuerdo con la ecuación

$$U_{C,f} = U_{C,i} + U_{step}$$

siendo el tamaño del escalón de tensión U_{step} positivo para la coloración, y negativo para la decoloración, y con las tensiones final e inicial $U_{c,f}$ y $U_{c,i}$.

- 30 13.- Un proceso según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que a una temperatura dada, T, de la celda electrocrómica el proceso de decoloración, y por lo tanto la extracción de carga, es prolongado durante un periodo de tiempo específico, Δt_{Bt} , que es calculado de acuerdo con la ecuación

$$\Delta t_{Bt} = (T_{lim} - T) \times Z$$

- 35 donde Δt_{Bt} es el tiempo de decoloración adicional, T_{lim} es una temperatura límite de la celda electrocrómica por debajo de la cual se extiende el proceso de decoloración, si $T_{lim} > T$, y Z es un factor que designa cuánto tiempo debería prolongarse el proceso de decoloración para cada grado por debajo de la temperatura límite.

14.- Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la tensión de contacto aplicada a los contactos de celda (A, B) es variada en escalones o saltos de 10-100 mV.

15.- Un proceso según la reivindicación 1, en el que ambas capas en las que los iones pueden ser insertados de forma reversible son electrocrómicas.

- 40 16.- Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que la primera y la segunda capas de electrodo son ópticamente transparentes.

17.- El aparato, que comprende:

una celda electrocrómica, y

una fuente de tensión, dispuesta para aplicar una tensión U_C a los contactos (A, B) de dicha celda electrocrómica, en que la celda electrocrómica comprende al menos los siguientes componentes:

una primera capa de electrodo (2) provista con un primer contacto (A) de celda eléctrico y una segunda capa de electrodo (6) provista con un segundo contacto (B) de celda eléctrico;

- 5 una primera y una segunda capas (3, 5), en que los iones pueden ser insertados de forma reversible, siendo revestida la primera capa (3) sobre la primera capa de electrodo (2), y siendo revestida la segunda capa (5) sobre la segunda capa de electrodo (6); y

una capa de conducción de iones (4) que separa la primera y segunda capas (3, 5) en que los iones pueden ser insertados de forma reversible,

- 10 donde al menos la primera capa (3), en la que los iones pueden ser insertados de forma reversible, es electrocrómica; y en el que la primera y la segunda capas (3, 5), en las que los iones pueden ser insertado de forma reversible, son electrodos contrarios entre sí;

en que el aparato comprende además

medios para medir la tensión de contacto aplicada U_C ,

- 15 un controlador conectado a los medios para medir la tensión de contacto aplicada y adaptado para analizar los valores medidos;

un amperímetro, adaptado para proporcionar que la corriente de celda i_C sea medida de modo continuo y enviar los valores medidos de la corriente de celda al controlador sobre una base cíclica;

- 20 un sensor de temperatura, adaptado para proporcionar una medición de temperatura de la celda electrocrómica, preferiblemente incorporado en una estructura de la celda electrocrómica, de tal manera que

el controlador está adaptado para calcular la magnitud de la tensión eléctrica que ha de ser aplicada a los contactos de la celda (A, B) basándose en los valores de temperatura, los límites de tensión electrocrómica y la corriente de la celda, en que el controlador está adaptado para aumentar la tensión aplicada como una función de la corriente, de tal manera que la tensión U_f generada entre las capas de electrodo (2, 6) es mantenida dentro de los límites de redox seguros predeterminados dependientes de la temperatura, de manera que la corriente de la celda está limitada a los límites predeterminados dependientes de la temperatura, estando caracterizado el aparato por que el controlador está adaptado para aumentar la tensión aplicada de manera escalonada solamente si la corriente de la celda es menor que una corriente de celda máxima i_{max} determinada de acuerdo con

$$i_{max} = j_{max} \times Area + (T - T_0) \times F$$

- 30 donde j_{max} es una densidad de corriente máxima predeterminada, $Área$ es el área de la celda activa, T es la temperatura del elemento electrocrómico, y T_0 es una temperatura de referencia, permitiendo por ello el factor F la modificación de la corriente de acuerdo con la temperatura, permitiendo por ello la modificación de la velocidad de conmutación con respecto a la temperatura.

- 35 18.- El aparato según la reivindicación 17 caracterizado por que el controlador comprende además un microprocesador y está adaptado para realizar cálculos de acuerdo con un algoritmo de conmutación, controlando por ello el proceso de conmutación completo basándose en el uso del algoritmo.

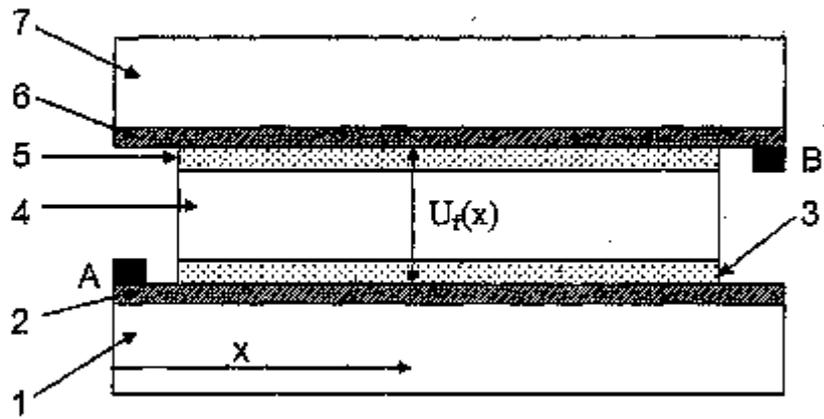


Fig. 1

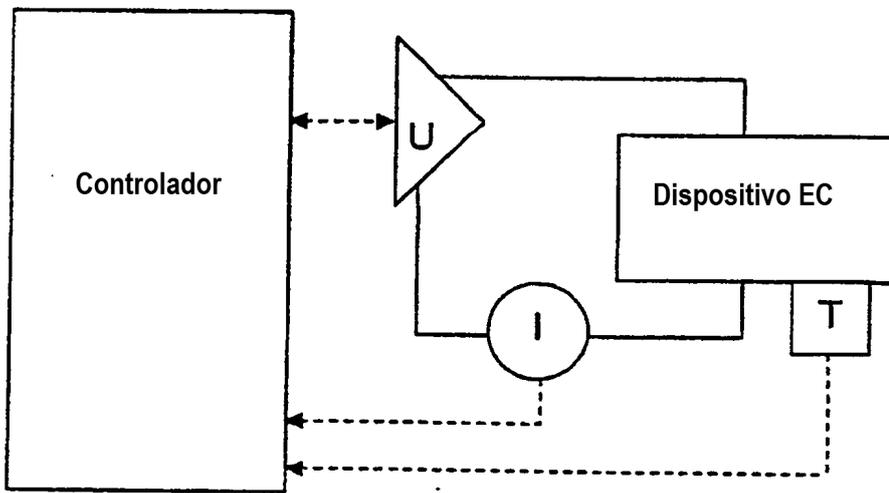


Fig. 2

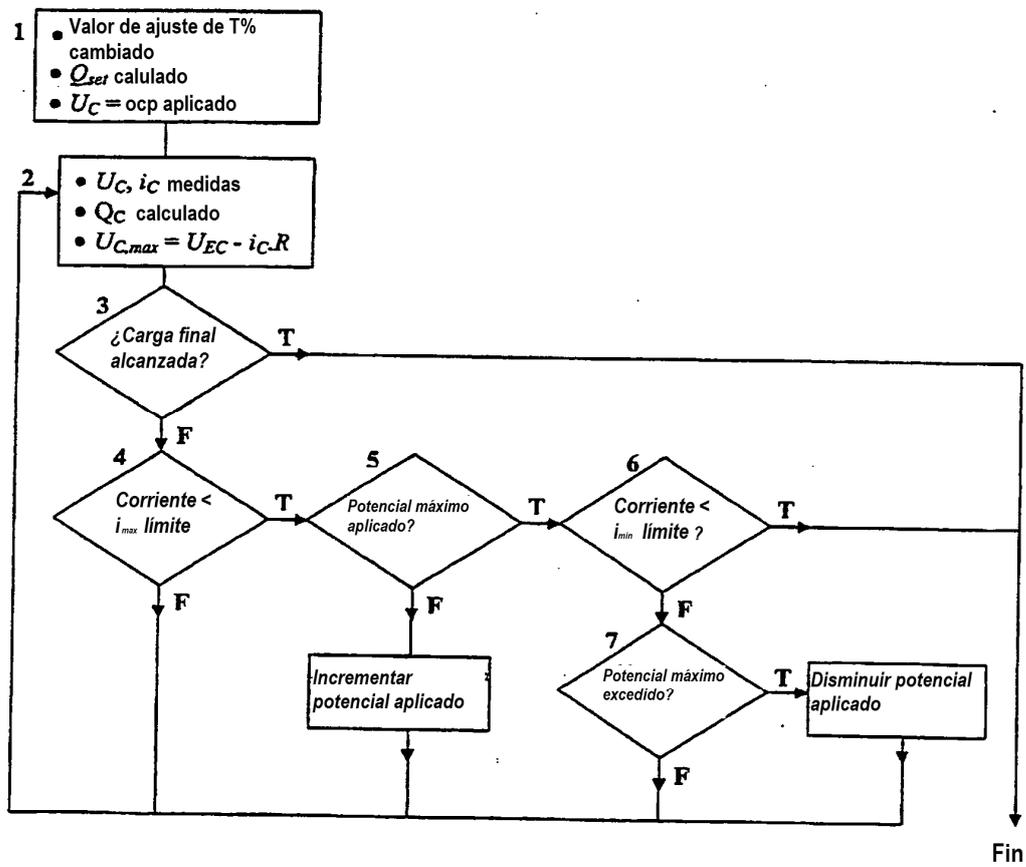


Fig. 3

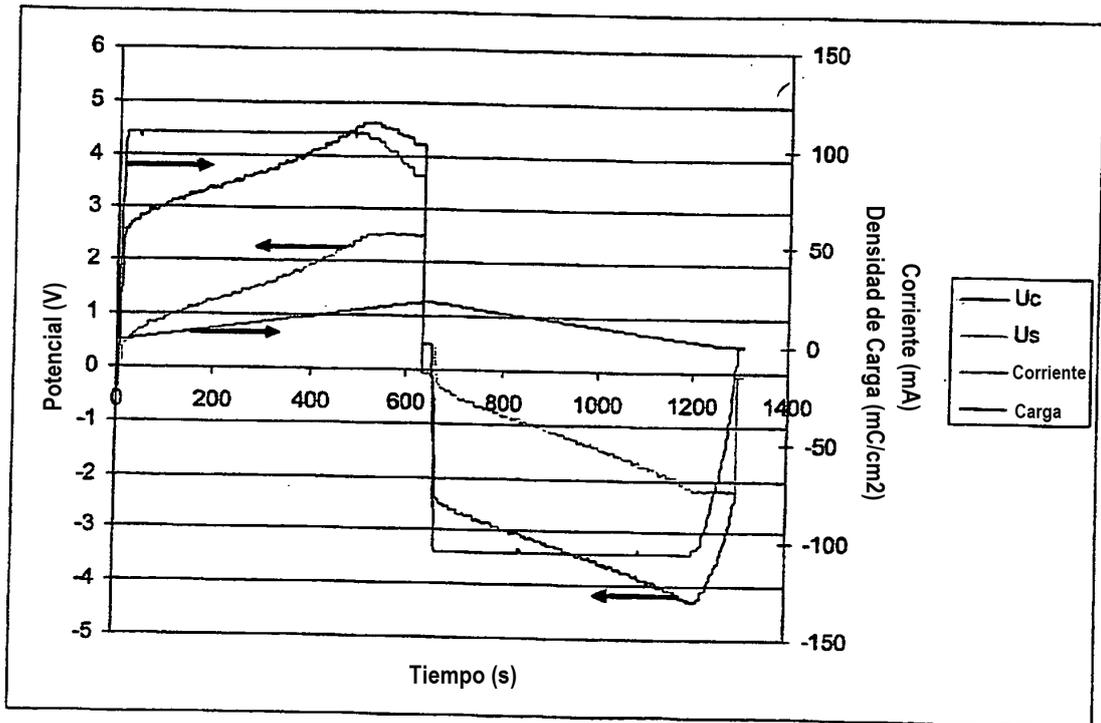


Fig. 4

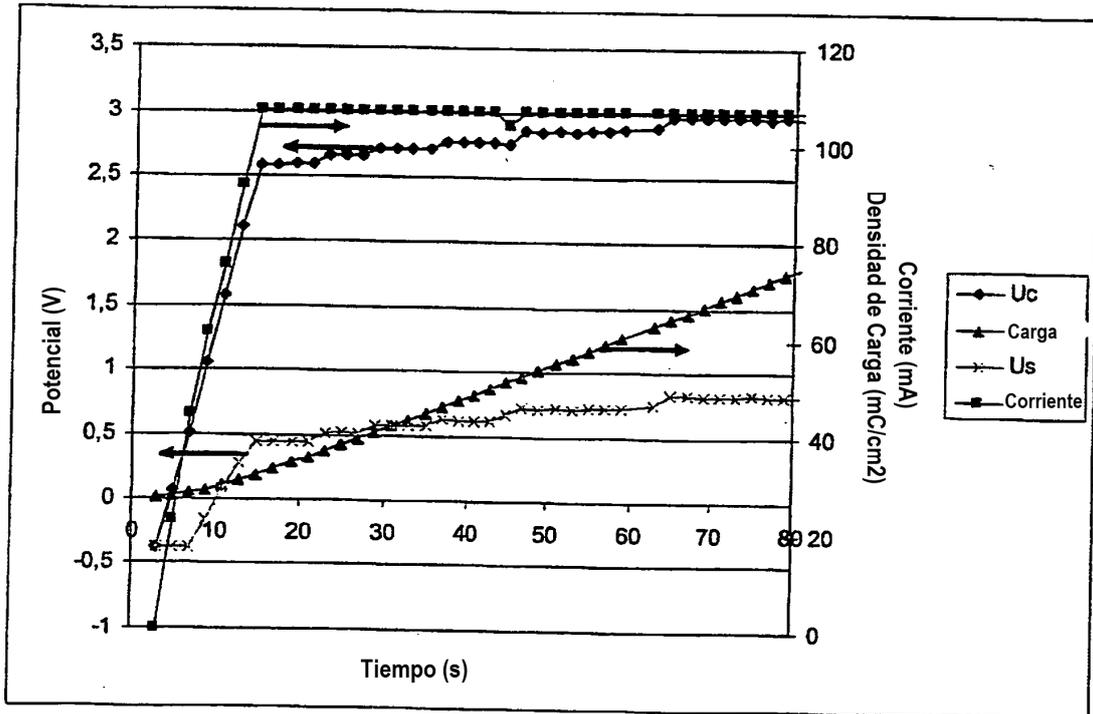


Fig. 5