

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 704**

21 Número de solicitud: 201430893

51 Int. Cl.:

H02M 7/483 (2007.01)

G01R 19/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

11.06.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.01.2015

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(100.0%)**

**Jordi Girona, 31
08034 Barcelona ES**

72 Inventor/es:

**PICAS PRAT, Ricard;
ZARAGOZA BERTOMEU, Jordi y
POU FÈLIX, Josep**

54 Título: **Sistema y método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía (MMC) y convertidor MMC**

57 Resumen:

Sistema y método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía (MMC) y convertidor MMC

El sistema comprende:

- unos sensores de tensión (SEN_{s1} , SEN_{s2} , SEN_{i1} , SEN_{i2}), cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión entre los terminales de una disposición en serie de sub-módulos (SMs(1)... SMs(n); SMi(1)... SMi(n)); y
- unos medios de procesamiento para:

- determinar que la medida de tensión realizada es una medida real de tensión en el condensador de un sub-módulo activado y estimar las tensiones en los condensadores de los sub-módulos desactivados; o
- estimar las tensiones en los condensadores de los sub-módulos desactivados y de los activados.

El convertidor MMC incluye el sistema de medida del primer aspecto.

El método comprende combinar medidas reales con estimadas, en función del estado de activación/desactivación de los sub-módulos del convertidor MMC.

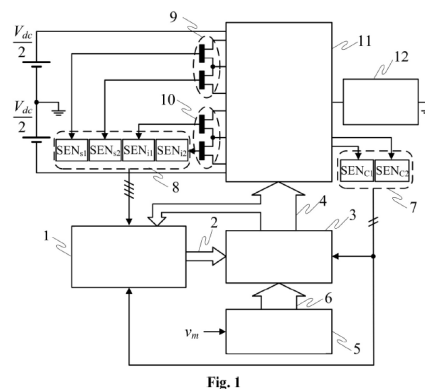


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía (MMC) y convertidor MMC.

Sector de la técnica

La presente invención concierne, en general y en un primer aspecto, a un sistema de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas, en general formadas por un condensador (C), de los sub-módulos (SMs) de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía, conocido comúnmente como convertidor MMC (MMC: *Modular Multilevel Converter*), y más en particular a un sistema que comprende un número de sensores de tensión inferior al número de sub-módulos del convertidor MMC.

Un segundo aspecto de la invención concierne a un convertidor MMC que incluye el sistema de medida del primer aspecto.

Un tercer aspecto de la invención concierne a un método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor MMC, que comprende combinar medidas reales con medidas estimadas, aprovechando el conocimiento sobre el estado de activación/desactivación de los sub-módulos del convertidor MMC.

La presente invención está relacionada, de forma general, con la electrónica de potencia, y de forma más particular, en reducir el número de sensores de tensión utilizados para medir las tensiones de las disposiciones capacitivas de cada SM en un convertidor MMC. Este tipo de convertidores se utilizan fundamentalmente en aplicaciones de alta tensión, especialmente en transmisión de energía en corriente continua (HVDC: High Voltage Direct Current), y más recientemente en accionamiento de motores de alta potencia.

Estado de la técnica anterior

La presente invención está relacionada con un convertidor multinivel con almacenamiento de energía distribuido, es decir un dispositivo para convertir corriente continua (CC) a corriente alterna (CA), o al revés, conocido comúnmente como MMC.

La topología básica de este convertidor fue patentada en DE10103031B4, aunque se han publicado otras variantes en WO2007023064A1, WO2009149743A1, US8599591B2, y DE102011086087A1. Este convertidor está formado por dos ramas o semi-fases conectadas entre uno de los terminales del bus de continua y el punto de salida. Cada una de estas ramas consiste en la unión en serie de N celdas o sub-módulos idénticos más una inductancia [1]. Los SMs están formados por una disposición capacitiva, en general formada por un condensador (C), y por un convertidor estático, normalmente en forma de semi-puente (*half-bridge*) o puente completo (*full-bridge*). Estos SMs trabajan como fuente de tensión, aportando las tensiones de las disposiciones capacitivas a la rama cuando están activadas o aportando una tensión prácticamente cero cuando están desactivadas. Así, la tensión de la rama consiste en la suma de las tensiones aportadas por cada uno de los SMs activados menos las caídas de tensión de todos los SMs, generalmente insignificantes. El número de SMs que deben estar activos en cada momento se puede definir mediante diversas técnicas de modulación [2-4].

Las técnicas de modulación generalmente definen el número de SMs a activar, pero no qué SMs concretos se deben activar. Para ello normalmente se usa un algoritmo de equilibrado de tensión [5], el cual decide el SM concreto que se activará con el objetivo de mantener la misma tensión en todos los SMs. Para poder aplicar este algoritmo es necesario conocer todas las tensiones de las disposiciones capacitivas de los SMs.

Las tensiones de las disposiciones capacitivas de los SMs se miden actualmente mediante sensores entre los bornes de las disposiciones capacitivas pertinentes. En aplicaciones reales de este tipo de convertidor, el número de SMs por rama puede ascender a centenares [6]. Por este motivo, la elevada cantidad de medidas de tensiones y su adaptación para su posterior procesamiento complica la implementación y el control de este convertidor, a la vez que compromete su fiabilidad. Hasta el momento se ha desarrollado alguna técnica para reducir el tiempo de procesado de las tensiones [7] pero no para reducir el número de sensores necesarios. Existen también algunas técnicas de control sin realimentación en las que no se miden las tensiones [8], pero su estabilidad y fiabilidad es muy reducida.

Referencias:

- [1] A. Lesnicar and R. Marquardt, “An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range,” in *Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna*, 2003.
- [2] L. G. Franquelo, J. Rodríguez, J. I. Leon, S. Kouro, R. Portillo and M. A. M. Prats, “The age of multilevel converters arrives,” *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, vol. 2, pp. 28-39, 2008.
- [3] L. Yapeng, H. Pengfei, G. Jie and J. Daozhuo, “A review of module multi-level converters,” in *Natural Computation (ICNC), 2011 Seventh International Conference on*, 2011, pp. 1934-1940.
- [4] M. Hagiwara and H. Akagi, “Control and Experiment of Pulsewidth-Modulated Modular Multilevel Converters,” *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. 1737-1746, 2009.
- [5] M. Saeedifard and R. Iravani, “Dynamic Performance of a Modular Multilevel Back-to-Back HVDC System,” *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 25, pp. 2903-2912, 2010.
- [6] K. Friedrich, “Modern HVDC PLUS application of VSC in Modular Multilevel Converter topology,” in *Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on*, 2010, pp. 3807-3810.
- [7] J. Mei, K. Shen and B. Xiao, “A New Selective Loop Bias Mapping Phase Disposition PWM with Dynamic Voltage Balance Capability for Modular Multilevel Converter,” *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. PP, pp. 1-1, 2013.
- [8] G. S. Konstantinou and V. G. Agelidis, “Performance evaluation of half-bridge cascaded multilevel converters operated with multicarrier sinusoidal PWM techniques,” in *Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on*, 2009, pp. 3399-3404.

30 Explicación de la invención

La presente invención concierne, en un primer aspecto, a un sistema de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía (MMC), donde dicho convertidor de potencia comprende al menos una fase formada por dos semi-fases, cada

una de las cuales comprende dos o más sub-módulos conectados en serie, y donde cada sub-módulo comprende una disposición capacitiva que comprende uno o más condensadores, dos terminales de salida y unos medios de conmutación que conectan, de manera alternativa, a los dos terminales de salida con los extremos de la disposición de capacitiva, para un estado activado del sub-módulo, o los cortocircuitan entre sí, para un estado desactivado del sub-módulo.

A diferencia de los sistemas de medida para convertidores MMC del estado de la técnica, el sistema de medida de la presente invención comprende, de manera característica:

10 - dos o más sensores de tensión, como mínimo uno por semi-fase, cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión entre los terminales extremos de una disposición en serie de dos o más sub-módulos; y

- unos medios de procesamiento con unas entradas dispuestas para recibir los valores de tensión de las medidas efectuadas por dichos dos o más sensores de tensión, y configurados para, a partir de al menos información recibida sobre el estado activado/desactivado de cada sub-módulo:

20 - determinar que la medida de tensión realizada por al menos uno de dichos dos o más sensores de tensión se corresponde substancialmente con una medida real de tensión en la disposición capacitiva de un sub-módulo activado de su respectiva disposición en serie de sub-módulos; y estimar las tensiones en las disposiciones capacitivas de los sub-módulos desactivados; o

- estimar las tensiones en las disposiciones capacitivas de los sub-módulos desactivados y de los activados.

25 En general, cada una de las mencionadas disposiciones capacitivas comprende un solo condensador, pero el sistema es válido para medir la tensión de cualquier configuración posible de disposiciones capacitivas, tal como la formada por varios condensadores conectados en serie y/o paralelo.

30 Según un ejemplo de realización preferido, los medios de procesamiento están configurados para realizar dicha determinación de que la medida de tensión realizada por al menos uno de dichos dos o más sensores de tensión se corresponde substancialmente con una medida real de tensión en la disposición capacitiva de un sub-módulo activado de su respectiva disposición en serie de sub-módulos, si solamente dicho sub-módulo se encuentra activado.

Preferentemente, el sistema de medida comprende dos o más sensores de tensión por semi-fase, cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión entre los terminales extremos de una disposición en serie de dos o más sub-módulos.

5 Los medios de procesamiento están configurados, de acuerdo con un ejemplo de realización, para registrar los valores de tensión medidos/estimados para cada disposición capacitiva y para actualizarlos cuando reciben una medida determinada como real para una disposición capacitiva, y los medios de procesamiento comprenden una salida para enviar los valores de tensión medidos, estimados y actualizados a unos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas.

10 Para un ejemplo de realización, el sistema de medida comprende como mínimo un sensor de corriente por semi-fase configurado para medir la corriente que circula por su respectiva semi-fase, comprendiendo los medios de procesamiento una entrada para recibir los valores de corriente medidos y estando configurados para llevar a cabo dicha estimación de las tensiones en las disposiciones capacitivas a partir de los valores de corriente recibidos, de los valores de capacidad de las disposiciones capacitivas y de información sobre el estado activado/desactivado del sub-módulo respectivo. De manera alternativa y/o complementaria, también son posibles otras formas de llevar a cabo tales estimaciones de las tensiones en las disposiciones capacitivas.

20 De acuerdo con otro ejemplo de realización, los medios de procesamiento comprenden unos contadores que cuentan el tiempo que llevan sin actualizarse las medidas de tensión para cada disposición capacitiva, y están configurados para, si el tiempo contado por al menos uno de dichos contadores es superior a un valor límite y superior al del resto de contadores, forzar la activación del sub-módulo asociado.

25 Si bien la mencionada activación forzada puede implementarse de diferentes formas, tal como actuando directamente sobre los sub-módulos (por ejemplo a través de una circuitería lógica dispuesta a la salida de los medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas), de manera preferida ésta se lleva a cabo mediante los medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas, para lo cual los medios de procesamiento están configurados para llevar a cabo dicha activación forzada variando los valores de tensión enviados a tales medios de control de equilibrado.

30 Para un ejemplo de realización, los medios de procesamiento comprenden unos medios de actualización y estimación de tensiones, encargados de la anteriormente descrita estimación de tensiones para cada disposición capacitiva y de la actualización

de sus valores con las medidas reales cuando se dispone de éstas, y unos medios de activación forzada, que como su propio nombre indica están encargados de realizar la activación forzada de los sub-módulos según se ha descrito en los párrafos anteriores.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el sistema de medida es un sistema redundante que comprende unos sensores de tensión adicionales, cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión de una respectiva semi-fase del convertidor, comprendiendo los medios de procesamiento unas entradas dispuestas para recibir información sobre los valores de tensión de las medidas efectuadas por dichos sensores de tensión adicionales y estando configurados para realizar una comprobación de redundancia comparando cada uno de dichos valores de tensión con la suma de los valores de tensión de cada semi-fase medidos por los sensores de tensión, y actuar en consecuencia en función del resultado de dicha comparación. Opcionalmente, el sistema redundante comprende también otros sensores de tensión dispuestos en paralelo a los sensores de tensión anteriormente descritos, incrementando así la redundancia en las medidas.

En función del ejemplo de realización, el sistema de medida está aplicado a un convertidor monofásico o a un convertidor trifásico, comprendiendo en este último caso como mínimo un sensor de tensión por cada una de las seis semi-fases del convertidor.

Un segundo aspecto de la invención concierne a un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía (MMC), donde dicho convertidor de potencia comprende como mínimo una fase formada por dos semi-fases, cada una de las cuales comprende dos o más sub-módulos conectados en serie, y donde cada sub-módulo comprende una disposición capacitiva que comprende uno o más condensadores, dos terminales de salida y unos medios de conmutación que conectan, de manera alternativa, a los dos terminales de salida con los extremos de la disposición capacitiva, para un estado activado del sub-módulo, o los cortocircuitan entre sí, para un estado desactivado del sub-módulo.

A diferencia de los convertidores MMC conocidos, el propuesto por el segundo aspecto de la presente invención comprende, de manera característica, el sistema de medida del primer aspecto, con cada uno de los mencionados sensores de tensión conectado entre los terminales extremos de unas respectivas disposiciones en serie de dos o más sub-módulos.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el convertidor comprende unos medios de modulación que generan una señal de modulación, y unos medios de control

de equilibrado que reciben dicha señal de modulación, por una entrada, y los valores de tensión medidos, estimados y actualizados por parte de los medios de procesamiento, por otra entrada, y, en base a la señal y los valores recibidos y a un criterio de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas, genera y envía, por una
 5 respectiva salida, a los medios de conmutación de los sub-módulos y a los medios de procesamiento unas señales de activación/desactivación.

Un tercer aspecto de la presente invención concierne a un método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía, donde dicho
 10 convertidor de potencia comprende como mínimo una fase formada por dos semi-fases, cada una de las cuales comprende dos o más sub-módulos conectados en serie, y donde cada sub-módulo comprende una disposición capacitiva que comprende uno o más condensadores, dos terminales de salida y unos medios de conmutación que conectan, de manera alternativa, a los dos terminales de salida con los extremos de la disposición
 15 capacitiva, para un estado activado del sub-módulo, o los cortocircuitan entre sí, para un estado desactivado del sub-módulo.

A diferencia de los métodos de medida conocidos, el propuesto por el tercer aspecto de la presente invención comprende realizar, de manera automática, las siguientes etapas:

- 20 - realizar dos o más medidas, al menos una por semi-fase, de la tensión existente entre los terminales extremos de una disposición en serie de al menos dos sub-módulos;
- realizar un proceso de validación de al menos una de dichas dos o más medidas de tensión, a partir de al menos información sobre el estado activado/desactivado de cada sub-módulo, y en el caso de que dicha validación ofrezca
 25 un resultado positivo determinar que la medida validada se corresponde substancialmente con una medida real de tensión en la disposición capacitiva de un sub-módulo activado de su respectiva disposición en serie de sub-módulos; y
- estimar las tensiones en las disposiciones capacitivas de los sub-módulos desactivados y, si la medida de tensión no ha sido validada, también de los sub-módulos
 30 activados.

Para un ejemplo de realización, el método comprende establecer que dicho proceso de validación ofrece un resultado positivo si la medida de tensión ha sido realizada cuando solamente un sub-módulo de la respectiva disposición en serie de sub-

módulos se encontraba activado y éste es el que incluye a dicha disposición capacitiva respecto a la cual determinar dicha medida real de tensión.

Según un ejemplo de realización, el método del tercer aspecto de la presente invención comprende, para medir la tensión de la disposición capacitiva de un sub-

5 módulo de interés, realizar las siguientes etapas:

a) realizar dicha medida de la tensión existente entre los terminales extremos de una disposición en serie de dos o más sub-módulos que incluyan a dicho sub-módulo de interés, y una medida de al menos la corriente que pasa por la semi-fase que lo incluye;

b) comprobar si se encuentra activado uno solo de dichos dos o más sub-
10 módulos, y si es así, comprobar si el sub-módulo que se encuentra activado es dicho sub-módulo de interés;

b1) si cualquiera de dichas dos comprobaciones ofrece un resultado negativo, estimar la tensión en la disposición capacitiva del sub-módulo de interés a partir del valor de corriente medido de la semi-fase, del valor de la
15 disposición capacitiva y de información sobre el estado activado/desactivado del sub-módulo de interés; y

b2) si la dos comprobaciones ofrecen un resultado positivo, considerar la medida de tensión como válida y determinar que se corresponde substancialmente con una medida real de tensión de la disposición
20 capacitiva del sub-módulo de interés, actualizar una posible estimación previa, si es el caso, y enviar el valor de tensión de dicha medida real a dichos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas del convertidor.

En general, dicha etapa b1) comprende:

25 b1a) enviar el valor de tensión estimado a unos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas del convertidor;
o

b1b) contar el tiempo que llevan sin actualizarse las medidas de tensión para la disposición capacitiva del sub-módulo de interés, y si éste es superior a
30 un valor límite y superior al contado para las medidas de tensión para las disposiciones capacitivas del resto de sub-módulos, modificar el valor de tensión estimado y enviar dicho valor modificado a unos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas del convertidor para que fueren la activación del sub-módulo de interés.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el método comprende utilizar el sistema de medida del primer aspecto para la medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía.

5 La presente invención permite, en todos sus aspectos, medir las tensiones de los condensadores (o agrupaciones de condensadores si es el caso) de todos los SMs de una semi-fase o rama sin tener que usar un sensor independiente por cada SM. La estrategia consiste en conectar los sensores entre la salida de múltiples SMs conectados en serie y tomar las medidas cuando sólo uno de los SMs asociados a un sensor de tensión
10 concreto está activado. De este modo, la tensión medida por los sensores corresponde a la tensión del condensador del SM activado menos las caídas de tensión en el mismo SM y en los demás SMs desactivados (pequeñas y que pueden ser fácilmente estimadas). Aunque, para un ejemplo de realización, la presente invención se puede utilizar con un solo sensor por cada semi-fase del convertidor, para poder utilizarse para cualquier
15 índice de modulación y número de SMs, el mínimo número de sensores de tensión necesarios por semi-fase son dos. También se pueden utilizar más sensores para aumentar la frecuencia de medida. Las medidas tomadas se utilizan para actualizar los valores de unos estimadores de tensión, los cuales calculan la tensión de los condensadores cuando no se dispone de medidas reales.

20 En un apartado posterior se presenta una implementación del método propuesto por el tercer aspecto de la invención, en la forma de un algoritmo cuyo fin es el de asegurar la actualización de todas las tensiones de cada SM, como mínimo, una vez por cada periodo de la señal de modulación.

Una de las principales aplicaciones de este método de medida propuesto es su
25 uso como alternativa a utilizar un sensor de tensión individual para cada SM. De esta forma se consigue una drástica reducción en el número de sensores utilizados, reduciendo los costes del convertidor y de su sistema de control. Otra aplicación es su utilización como sistema redundante a los sensores individuales, permitiendo detectar fallos de los sensores y sustituyendo las medidas del sensor erróneo.

30

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de

realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los cuales:

La Figura 1 muestra a modo de ejemplo aclaratorio, el diagrama de bloques del convertidor MMC propuesto por el segundo aspecto de la invención que comprende un sistema de control que incluye el sistema de medida de tensiones propuesto por el primer aspecto de la invención, para un ejemplo de realización.

La Figura 2 muestra el convertidor MMC de la Figura 1 cuando el sistema de control se complementa con un algoritmo de forzado de actualización de medidas.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo del método de medida propuesto por el tercer aspecto de la invención, o método de estimación y actualización de las tensiones de condensador, para un ejemplo de realización. El algoritmo correspondiente a este diagrama de flujo se realiza de forma independiente para cada SM. Por motivos de generalización se usan los subíndices j y n , que indican respectivamente la semi-fase superior (s) e inferior (i) y el número de SM.

La Figura 4 muestra el diagrama de flujo de la Figura 3 complementado por un algoritmo de forzado de actualización.

La Figura 5 muestra el esquema de un SM del convertidor MMC, donde se especifica la salida del mismo (indicada como O_{SM}), donde los medios de conmutación SW están formados por una estructura de semi-puente.

La Figura 6 muestra con detalle un convertidor MMC monofásico con cuatro SMs por semi-fase ($N=4$) con sensores independientes ubicados en los bornes de cada condensador. Esta figura representa la técnica utilizada en el estado de la técnica anterior para medir las tensiones de los diferentes SM.

La Figura 7 muestra con detalle un ejemplo de realización del convertidor MMC del segundo aspecto de la invención, cuando éste es un convertidor MMC monofásico con $N=4$ e incorpora el sistema medida propuesto por el primer aspecto de la invención, para un ejemplo de realización para el que éste incluye una posible distribución de dos sensores de tensión por semi-fase.

La Figura 8 muestra el ejemplo de una situación apta para medir las tensiones de los condensadores mediante la estrategia propuesta y utilizando dos sensores por semi-fase. Con línea continua se muestran los SMs activados, los cuáles conectan los condensadores en serie a la semi-fase, y con línea discontinua se muestran los SMs desactivados, los cuáles actúan como cortocircuitos.

La Figura 9 muestra un ejemplo de convertidor MMC trifásico, según el segundo aspecto de la invención (fases a, b y c), con el sistema de medida del primer aspecto que comprende dos sensores de tensión por semi-fase.

La Figura 10 muestra una variación de la topología de medida, usando tres
5 sensores por semi-fase. Aunque el ejemplo se realiza con tres sensores, el sistema de medida es expandible a cualquier número de sensores hasta un máximo de N por semi-fase (usando un sensor por cada SM).

La Figura 11 muestra un ejemplo de realización del sistema de medida del primer aspecto de la invención, para el cual éste tiene una topología mejorada con
10 redundancia, en la cual un tercer sensor mide toda la tensión de semi-fase.

La Figura 12 muestra la topología de la Figura 11 con incremento de redundancia, usando sensores en paralelo.

La Figura 13 muestra un ejemplo de aplicación del sistema de medida, usándolo como sistema redundante cuándo ya se mide la tensión del condensador de cada SM de
15 forma individual.

La Figura 14 muestra los resultados de simulación de las tensiones en los condensadores cuando se usa el sistema de medida propuesto por la presente invención (a) y (b), para la topología ilustrada en la Figura 1 (tanto por lo que se refiere al convertidor MMC como al sistema de medida), y cuando se usa un sensor individual
20 para cada SM (c) y (d), para la misma topología de convertidor MMC.

La Figura 15 muestra los resultados experimentales de las tensiones en los condensadores cuando se usa el sistema de medida propuesto por la presente invención (a) y (b), para la topología ilustrada en la Figura 1, y cuando se usa un sensor individual para cada SM (c) y (d), para la misma topología de convertidor MMC.
25

Descripción detallada de unos ejemplos de realización

En el presente apartado se describirán diversos ejemplos de realización de los diferentes aspectos de la presente invención, para la medida de la tensión en las
30 disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor MMC, simplificando la descripción para el caso de que cada una de tales disposiciones capacitivas incluya un único condensador, aunque obviamente, tal y como se ha reivindicado y también descrito en un apartado anterior, la medida de tensión se realiza de igual modo sobre disposiciones capacitivas que incluyan más de un condensador

Tal y como se ha indicado en el apartado de estado de la técnica anterior, es conocido que para obtener un correcto funcionamiento del convertidor MMC convencional, se requiere el uso de un control de equilibrado de las tensiones de los condensadores de los SMs. Una vez el modulador ha definido la cantidad de SMs que se
5 deben activar en cada semi-fase, el control de equilibrado selecciona los SMs más adecuados con el objetivo de mantener todas las tensiones de los condensadores lo más próximas posibles. Este control se basa normalmente en ordenar todas las tensiones de los condensadores de cada semi-fase por orden ascendente o descendente para poder seleccionar la activación de los SMs con las tensiones más apropiadas. Si la corriente en
10 la semi-fase es negativa (descarga los condensadores) hay que activar los SMs con las tensiones más elevadas. En cambio, si la corriente es positiva (carga los condensadores) hay que activar los SMs con las tensiones más reducidas. Esta técnica de equilibrado, igual que otras técnicas alternativas, requiere conocer en cada ciclo de conmutación todas las tensiones en los condensadores. En aplicaciones con un alto número de SMs,
15 la medida de estas tensiones comporta un elevado coste. Esto es debido al gran número de sensores requeridos, con su respectivo cableado en un entorno hostil (ruido electromagnético), y la necesidad de un elevado número de puertos de entrada en el sistema de control.

La presente invención propone un sistema/método para medir las tensiones de
20 los condensadores sin necesidad de usar un sensor independiente ubicado entre los bornes de cada condensador. El sistema se basa en dividir las semi-fases del convertidor en bloques, ubicando los sensores en la salida de cada SM o entre la salida de varios de ellos, y de este modo medir la tensión que aporta cada bloque a la rama, es decir, la suma de las tensiones de salida de todos los SMs del bloque. Preferentemente la tensión
25 del bloque de medida se adquirirá cuando sólo uno de sus SMs está activado, de forma que la tensión medida por el sensor es aproximadamente igual a la tensión de la disposición capacitiva (en general formada por un condensador) del SM activado. La diferencia entre la tensión medida y la real corresponde fundamentalmente a las caídas de tensión en el SM activado y en los demás SMs desactivados, valor que se puede
30 considerar despreciable o bien calcularse fácilmente.

El sistema y método de medida propuesto se complementa, para un ejemplo de realización, con un sistema/método de estimación de tensión en los condensadores de los sub-módulos (o en general en las disposiciones capacitivas). Conociendo el ciclo de trabajo y la corriente que circula por cada semi-fase, los valores de las tensiones en los

condensadores se estiman mediante ecuaciones matemáticas que relacionan tensiones y corrientes en los condensadores, las cuales incluyen funciones integrales. Las tensiones estimadas se actualizan cada vez que se produce una medida real en el SM correspondiente. De esta forma, el error acumulado por el estimador se corrige
5 periódicamente cada pocos ciclos de conmutación.

El sistema/método de la presente invención se puede aplicar usando sólo un sensor por cada semi-fase, pero entonces, su rango de aplicación se ve limitado, pues sólo se podría medir la tensión cuando un sólo SM en toda la semi-fase estuviera activado, situación que no se produce operando con índices de modulación bajos.

10 Por este motivo, se presenta como opción mejorada utilizar dos sensores por semi-fase, cada uno de los cuales mediría la tensión aportada por la mitad de SMs de la rama. Para poder realizar medidas en esta configuración, debe haber activados en la semi-fase como máximo la mitad más uno ($N/2+1$) de SMs. Estos pueden aparecer de forma que en un bloque de medida (mitad de la semi-fase) aparezca sólo un SM
15 activado, el cuál puede ser medido, y los SMs restantes se activen en la otra mitad de la semi-fase. Esta situación se produce para cualquier índice de modulación.

Aunque la configuración ideal consiste en dos sensores, el número se puede ampliar para así aumentar la fiabilidad y precisión en la medida de la tensión de cada condensador. Al aumentar el número de sensores se incrementa la probabilidad de que
20 haya un sólo SM activo por sensor, y por tanto, aumenta la frecuencia de medida y actualización de los estimadores.

Para un ejemplo de realización, el sistema/método de la presente invención no fuerza la actualización de la medida de tensiones en los condensadores, sino que aprovecha las ocasiones favorables que aparecen. Con intención de asegurar una
25 actualización periódica de las medidas de tensión, para otro ejemplo de realización, el sistema/método de medida de la presente invención se complementa con un algoritmo de forzado de actualización. Si después de un tiempo preventivo no se han actualizado las tensiones de todos los SMs de forma natural, este algoritmo modifica la prioridad de actualización de los SMs para facilitar su activación en solitario y permitir que su
30 tensión pueda ser medida.

En la Figura 1 se muestra tanto al sistema de medida propuesto por el primer aspecto de la invención, como al convertidor del segundo aspecto que lo incluye, para un ejemplo de realización para el que los anteriormente referidos como medios de procesamiento comprenden un bloque estimador (1) (o bloque de actualización y

estimador de tensiones) que calcula las tensiones de los condensadores y actualiza el valor estimado cada vez que hay un valor disponible en los sensores de medida de tensión (8), que en este caso comprenden dos sensores (9), SENs1 y SENs2, en la semi-fase superior y dos sensores (10), SENi1 y SENi2, en la semi-fase inferior del convertidor monofásico (11). Esta estimación se realiza, para el ejemplo ilustrado, a partir de la corriente de rama, medida por los sensores de corriente SEN_{C1} y SEN_{C2} (7) y del estado de conmutación ($s_{s(n)}$ o $s_{i(n)}$) de cada SM (4). Las tensiones estimadas (2) se envían al control de equilibrado (3), el cual decidirá qué SMs concretos se deben activar, cumpliendo con el número de SMs (6) definido por el modulador (5).

El diagrama de flujo seguido por el bloque estimador (1) de forma repetitiva para cada SM se muestra en la Figura 3, según un ejemplo de realización del método propuesto por el tercer aspecto de la invención. Al inicio de cada ciclo de programa, en A1, se miden las tensiones y corrientes del sistema. En la casilla A2 se comprueba si solamente hay un SM activado en el bloque de medida correspondiente. En caso de que sea así y de que éste sea el de interés, es decir el que incluye al condensador cuya tensión desea medirse, lo cual se comprueba en la casilla A4, este SM actualizará el valor de su estimador con el valor medido por el sensor, como se indica en la casilla A5. En cambio, para los SMs que no estén activados o si hay más de un SM activado en el bloque, la tensión del condensador se estimará a partir de la corriente de la semi-fase y del estado del SM (4) (activado o desactivado), tal y como se indica en la casilla A3. Finalmente, los valores estimados y los de medidas reales se envían al control equilibrado, según se indica en la casilla A6.

En la Figura 2 se muestra tanto al sistema de medida propuesto por el primer aspecto de la invención, como al convertidor del segundo aspecto que lo incluye, para un ejemplo de realización para el que los medios de procesamiento comprenden, además del bloque estimador (1), un bloque de activación forzada, referido como “Algoritmo de forzado” (14), que complementa la estrategia de medida. El diagrama de bloques ilustrado es como el de la figura 1 pero modificado por la inclusión del bloque del algoritmo de forzado (14) entre la salida (2) del bloque (1) y una entrada del bloque de control de equilibrado (3). Este algoritmo actúa cuando el tiempo que un SM lleva sin actualizarse en el estimador excede el límite permitido, indicado mediante la señal (13) de un contador de ciclos. Entonces, el algoritmo de forzado (14) modifica las tensiones de entrada al control de equilibrado (15) para así modificar la prioridad de activación del SM y forzar la actualización de medida de tensión de su condensador.

El diagrama de flujo de la estrategia complementada por el algoritmo de forzado de tensión se muestra en la Figura 4. Las casillas A1 a A6 son equivalentes a las del diagrama de la Figura 3. A diferencia del diagrama de la Figura 3, después de realizar la estimación la tensión porque no se dispone de la medida real se incrementa el valor de un contador (13), según se indica en la casilla F1. Cuando este contador supere el límite fijado, según se comprueba en la casilla F2, se iniciará el proceso de forzado de tensión, a condición de que se obtenga una respuesta afirmativa a las cuestiones planteadas en las disyuntivas de las casillas F3 y F4. Este forzado sólo se realizará en el semiperíodo adecuado (positivo para la semi-fase superior y negativo para la semi-fase inferior), según se indica en la casilla F3, es decir cuando hay menos de la mitad de SMs activados, y por tanto, hay posibilidad de realizar actualizaciones. Además, el forzado sólo se realiza para un SM a la vez, aplicándolo al SM con un valor de contador mayor, es decir, que lleva más tiempo sin actualizarse, lo cual se comprueba en F4. Si se cumplen todas las condiciones, se modificaran/falsificarán las tensiones estimadas de los condensadores (15), en F5, a enviar (en F6) al control de equilibrado, aumentando de este modo la prioridad del SM que se quiere medir y disminuyendo la de los demás SMs del bloque, facilitando así que éste se active en solitario, ya que el bloque de control de equilibrado interpretará, a partir de tales tensiones modificadas, que debe activar el SM de mayor prioridad. Una vez se realice la medida real, el contador se reiniciará, tal y como indica la casilla F6. Tanto los valores modificados como los de medidas reales se envían al control de equilibrado, según se indica en la casilla A6.

El convertidor MMC monofásico mostrado en las Figuras 1 y 2 (11) junto con el sistema de medida propuesto por el primer aspecto de la presente invención, conforma el convertidor propuesto por segundo aspecto, y se muestra detallado en la Figura 7, para un ejemplo de realización. En esta Figura se puede apreciar la distribución de los sensores de tensión usando la estrategia propuesta: dos sensores (9), SEN_{s1} y SEN_{s2} , en la semi-fase superior y dos sensores (10), SEN_{i1} y SEN_{i2} , en la semi-fase inferior. A diferencia de los sistemas con un sensor independiente por cada SM ($SEN_{SMs(n)}$ o $SEN_{SMi(n)}$) como el mostrado en la Figura 6, en el método propuesto cada uno de los sensores mide la tensión proporcionada por más de un SM.

En la Figura 10 se muestra una variación de la topología de medida, con la siguiente distribución de los sensores de tensión: tres sensores, SEN_{s1} , SEN_{s2} , SEN_{s3} , en la semi-fase superior y tres sensores, SEN_{i1} , SEN_{i2} , SEN_{i3} , en la semi-fase inferior, cada uno de los cuales dispuesto entre los terminales extremos de respectivas disposiciones

en serie de SMs: SMs $s(1)$ a $s(N/3)$, $s(N/3+1)$ a $s(2N/3)$, $s(2N/3+1)$ a $s(N)$ para la semi-fase superior y SMs $i(1)$ a $i(N/3)$, $i(N/3+1)$ a $i(2N/3)$, $i(2N/3+1)$ a $i(N)$ para la semi-fase inferior.

Aunque en la Figura 7 y en el resto de figuras que ilustran el interior de cada SM, se ha representado un esquema de un SM del convertidor MMC con topología de semi-puente, ilustrado en detalle en la Figura 5, la presente invención es también aplicable para otra clase de topologías, en particular para una topología de puente completo.

Como se ha indicado anteriormente, con el objetivo de mejorar la fiabilidad del sistema de medida propuesto, éste se puede complementar con sensores redundantes, tal como se ilustra en las Figuras 11 y 12. Añadiendo un sensor para medir la tensión de toda la semi-fase, se podría detectar un fallo en uno de los otros sensores y sustituirlo. Además, se pueden añadir sensores en paralelo a cada uno de ellos para detectar el fallo de más de un sensor.

En la topología del sistema redundante mostrado en la Figura 11, los bloques de medida principales (9, 10) se complementan con bloques para la medida de las tensiones totales de las semi-fases superior (16) e inferior (17), cada uno de ellos formado, en este caso, por un sensor de tensión (SEN_{sTOTAL} , SEN_{iTOTAL}).

En la Figura 12 se muestra la topología de la Figura 11 con incremento de redundancia, usando sensores en paralelo (SEN_{s1-R} , SEN_{s2-R} , SEN_{i1-R} , SEN_{i2-R} , $SEN_{sTOTAL-R}$, $SEN_{iTOTAL-R}$), tanto a los sensores principales ($SEN_{s(n)}$, $SEN_{i(n)}$) como a los sensores de semi-fase (SEN_{sTOTAL} , SEN_{iTOTAL}).

Aunque el sistema de medida propuesto por el primer aspecto de la presente invención tiene como aplicación principal la de sustituir al sistema de medida convencional basado en la inclusión de un sensor de tensión por SM, también puede utilizarse de manera complementaria, es decir, como se ilustra en la Figura 13, usándolo como sistema redundante cuándo ya se mide la tensión del condensador de cada SM de forma individual.

30

Enumeración de los elementos representados en las Figuras:

- (1) Estimador de tensiones y sistema de actualización de las estimaciones a partir de las medidas realizadas.
- (2) Tensiones estimadas.

- (3) Control de equilibrado de tensiones.
- (4) Señales de activación de los SMs.
- (5) Modulador.
- (6) Número de SMs que se desea activar.
- 5 (7) Sensores de corriente de semi-fase.
- (8) Sensores de tensión para el método de medida propuesta.
- (9) Bloques de medida de la semi-fase superior.
- (10) Bloques de medida de la semi-fase inferior.
- (11) Convertidor MMC monofásico sin el sistema de medida.
- 10 (12) Carga monofásica o red eléctrica.
- (13) Número de ciclos de conmutación sin actualizarse de cada tensión estimada.
- (14) Algoritmo de forzado de actualización.
- (15) Tensiones estimadas modificadas por el algoritmo de forzado.
- (16) Bloque de medida de la tensión total de la semi-fase superior en sistema
- 15 redundante.
- (17) Bloque de medida de la tensión total de la semi-fase inferior en sistema redundante.

Ejemplo de aplicación del sistema de medida propuesto:

Se presenta a título de ejemplo una aplicación particular del sistema de medida de la presente invención, en el convertidor MMC representado en la Figura 1. En este caso, los datos del convertidor son los siguientes: número de SMs por semi-fase $N=10$, tensión del bus de continua $V_{dc}=750V$, capacidad de los condensadores de los SMs $C=1500 \mu F$, inductancia de la bobina de semi-fase $L=1,5 \text{ mH}$, valor eficaz de la corriente de salida $I_o=10A$ con un desfase de $\varphi=30^\circ$ y frecuencia de señal portadora $f_s=5$

20 kHz.

En esta aplicación particular se dispone de 10 SMs por semi-fase y dos sensores de tensión por semi-fase (SEN_{s1} y SEN_{s2} en la semi-fase superior, SEN_{i1} y SEN_{i2} en la semi-fase inferior), de forma que cada uno de ellos medirá la tensión de 5 SMs conectados en serie. La medida de cada uno de los sensores se considerará válida

30 cuando sólo un SM del bloque de medida correspondiente esté activado. Esta medida se transmitirá al bloque de estimación de tensiones (1), el cual corregirá su estimación con el valor real medido.

La estimación se realiza en cada ciclo de conmutación a partir de los valores de la corriente de las semi-fases superior (SEN_{Cs}) e inferior (SEN_{Ci}) y de los ciclos de

trabajo de los SMs. Las ecuaciones utilizadas para realizar esta estimación son las siguientes, donde C es la capacidad de los condensadores, los subíndices $s(n)$ e $i(n)$ indican el número de SMs de las semi-fases superior e inferior respectivamente, i_s e i_i representan los corrientes de las semi-fases y s indica el estado del SM, valiendo 1 cuando está activado y 0 cuando está desactivado ($s_{s(n)}, s_{i(n)} = \{0,1\}$).

Semi-fase superior	$v_{C\ s(n)} = \frac{1}{C} \int i_s s_{s(n)} dt$
Semi-fase inferior	$v_{C\ i(n)} = \frac{1}{C} \int i_i s_{i(n)} dt$

Cuando se usa un algoritmo de forzado de tensión (Figura 2), en caso que la actualización de tensión de un SM se demore más de lo deseado (pudiendo acumular un mayor error en la estimación), el algoritmo de forzado entrará en funcionamiento. Este bloque modifica el valor de tensión que se envía al bloque de equilibrado de tensiones, reduciendo el valor del SM que se quiere actualizar (o incrementándolo si la corriente es negativa), con el objetivo de facilitar su activación, e incrementado el valor de los demás SMs del conjunto medido por el mismo sensor (reduciéndolo si la corriente es negativa) facilitando su desactivación. De esta forma, cuando el número total de SMs activados lo permita, el SM que se desea actualizar será el único activado en el bloque de medida.

En caso de utilizar una variación de la topología con un sensor redundante, como la mostrada en la Figura 11, se debe incluir un bloque de comprobación de redundancia antes del bloque de estimación. Este bloque de redundancia debe comprobar la coincidencia entre la suma en cada semi-fase de las medidas de los sensores principales $SEN_{s(n)}$ o $SEN_{i(n)}$ (dónde n indica el número de sensor) con la medida del sensor total de semi-fase SEN_{sTOTAL} o SEN_{iTOTAL} . En caso de no coincidir, mediante un sencillo algoritmo se detecta cual es el sensor erróneo y se inhabilita. La tensión del bloque inhabilitado se puede calcular como la diferencia entre el sensor total de semi-fase y la suma de los demás sensores. Como se muestra en la Figura 12, tal y como se ha indicado anteriormente, la topología redundante se puede ampliar añadiendo sensores en paralelo, tanto a los sensores principales ($SEN_{s(n)}$, $SEN_{i(n)}$) como a los sensores de semi-fase (SEN_{sTOTAL} , SEN_{iTOTAL}).

En las Figuras 14 (a) i 14 (b) se muestran los resultados de simulación de las tensiones en los condensadores de la semi-fase superior cuando se utiliza el sistema de medida propuesto con las condiciones de este ejemplo. Como se puede comprobar, su resultado es muy parecido al de las Figuras 14 (c) y 14 (d), donde se muestran los resultados de simulación de las tensiones en los condensadores en la semi-fase superior cuando se usa un sensor de tensión individual para el condensador de cada SM.

En la Figura 15 se muestran los resultados experimentales comparando el sistema/método de medida propuesto y el sistema/método de medida convencional. Los datos del convertidor usado para los resultados experimentales son los siguientes: número de SMs por semi-fase $N=4$, tensión del bus de continua $V_{dc}=160V$, capacidad de los condensadores de los SMs $C=1500 \mu F$, inductancia de la bobina de semi-fase $L=6mH$, valor eficaz de la corriente de salida $I_o=3A$ con un desfase de $\varphi=0^\circ$ y frecuencia de señal portadora $f_s=2777$ Hz. En las Figuras 15 (a) y 15 (b) se muestran los resultados experimentales de las tensiones en los condensadores de la semi-fase superior cuando se utiliza el sistema de medida propuesto. En las Figuras 15 (c) y (d) se muestran los resultados experimentales de las tensiones en los condensadores en la semi-fase superior cuando se usa un sensor individual para cada SM.

Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía, donde dicho convertidor de potencia comprende al menos una fase formada por dos semi-fases, cada una de las cuales comprende dos o más sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)) conectados en serie, y donde cada sub-módulo comprende una disposición capacitiva que comprende uno o más condensadores (C), dos terminales de salida (X1, X2) y unos medios de conmutación (SW) que conectan, de manera alternativa, a los dos terminales de salida (X1, X2) con los extremos de la disposición de capacitiva, para un estado activado del sub-módulo, o los cortocircuitan entre sí, para un estado desactivado del sub-módulo, estando el sistema de medida **caracterizado** porque comprende:

- dos o más sensores de tensión (SEN_{s1}, SEN_{s2}; SEN_{i1}, SEN_{i2}), al menos uno por semi-fase, cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión entre los terminales extremos de una disposición en serie de dos o más sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)); y

- unos medios de procesamiento con unas entradas dispuestas para recibir los valores de tensión de las medidas efectuadas por dichos dos o más sensores de tensión (SEN_{s1}, SEN_{s2}; SEN_{i1}, SEN_{i2}), y configurados para, a partir de al menos información recibida sobre el estado activado/desactivado de cada sub-módulo (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)):

- determinar que la medida de tensión realizada por al menos uno de dichos dos o más sensores de tensión (SEN_{s1}, SEN_{s2}; SEN_{i1}, SEN_{i2}) se corresponde substancialmente con una medida real de tensión en la disposición capacitiva de un sub-módulo activado de su respectiva disposición en serie de sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)); y estimar las tensiones en las disposiciones capacitivas de los sub-módulos desactivados; o

- estimar las tensiones en las disposiciones capacitivas de los sub-módulos desactivados y de los activados.

2.- Sistema según la reivindicación 1, caracterizado porque los medios de procesamiento están configurados para realizar dicha determinación de que la medida de

tensión realizada por al menos uno de dichos dos o más sensores de tensión (SEN_{s1} , SEN_{s2} ; SEN_{i1} , SEN_{i2}) se corresponde substancialmente con una medida real de tensión en la disposición capacitiva de un sub-módulo activado de su respectiva disposición en serie de sub-módulos ($SMs(1)\dots SMs(n)$; $SMi(1)\dots SMi(n)$), si solamente dicho sub-módulo se encuentra activado.

3.- Sistema según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque comprende dos o más sensores de tensión (SEN_{s1} , SEN_{s2} ; SEN_{i1} , SEN_{i2}) por semi-fase, cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión entre los terminales extremos de una disposición en serie de dos o más sub-módulos ($SMs(1)\dots SMs(n)$; $SMi(1)\dots SMi(n)$).

4.- Sistema según la reivindicación 1, 2 ó 3, caracterizado porque dichos medios de procesamiento están configurados para registrar los valores de tensión medidos/estimados para cada disposición capacitiva y para actualizarlos cuando reciben una medida determinada como real para una disposición capacitiva, y porque los medios de procesamiento comprenden una salida (2) para enviar los valores de tensión medidos, estimados y actualizados a unos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas (3).

5.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende al menos un sensor de corriente (SEN_{c1} , SEN_{c2}) por semi-fase configurado para medir la corriente que circula por su respectiva semi-fase, comprendiendo los medios de procesamiento una entrada para recibir los valores de corriente medidos y estando configurados para llevar a cabo dicha estimación de las tensiones en las disposiciones capacitivas a partir de los valores de corriente recibidos, de los valores de capacidad de las disposiciones capacitivas y de información sobre el estado activado/desactivado del sub-módulo respectivo ($SMs(1)\dots SMs(n)$; $SMi(1)\dots SMi(n)$).

6.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los medios de procesamiento comprenden unos contadores que cuentan el tiempo que llevan sin actualizarse las medidas de tensión para cada disposición capacitiva, y porque están configurados para, si el tiempo contado por al menos uno de dichos contadores es superior a un valor límite y superior al del resto de contadores, forzar la activación del sub-módulo asociado.

7.- Sistema según la reivindicación 6, caracterizado porque los medios de procesamiento están configurados para llevar a cabo dicha activación forzada variando

los valores de tensión enviados a dichos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas.

8.- Sistema según la reivindicación 6 ó 7, caracterizado porque dichos medios de procesamiento comprenden unos medios de actualización y estimación de tensiones (1) y
5 unos medios de activación forzada (14).

9.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque es un sistema redundante que comprende unos sensores de tensión adicionales (SEN_{sTOTAL} ; SEN_{iTOTAL}), cada uno de los cuales está configurado para medir la tensión de una respectiva semi-fase del convertidor, comprendiendo los medios de procesamiento
10 unas entradas dispuestas para recibir información sobre los valores de tensión de las medidas efectuadas por dichos sensores de tensión adicionales (SEN_{sTOTAL} ; SEN_{iTOTAL}) y estando configurados para realizar una comprobación de redundancia comparando cada uno de dichos valores de tensión con la suma de los valores de tensión de cada semi-fase medidos por los sensores de tensión (SEN_{s1} , SEN_{s2} ; SEN_{i1} , SEN_{i2}), y actuar en
15 consecuencia en función del resultado de dicha comparación.

10.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque está aplicado a un convertidor trifásico, comprendiendo al menos un sensor de tensión (SEN_{as1} , SEN_{as2} , SEN_{bs1} , SEN_{bs2} , SEN_{cs1} , SEN_{cs2} ; SEN_{ai1} , SEN_{ai2} , SEN_{bi1} , SEN_{bi2} , SEN_{ci1} , SEN_{ci2}), por cada una de las seis semi-fases del convertidor.

20 11.- Convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía, donde dicho convertidor de potencia comprende al menos una fase formada por dos semi-fases, cada una de las cuales comprende dos o más sub-módulos ($SMs(1) \dots SMs(n)$; $SMi(1) \dots SMi(n)$) conectados en serie, y donde cada sub-módulo comprende una disposición capacitiva que comprende uno o más condensadores (C), dos
25 terminales de salida (X1, X2) y unos medios de conmutación (SW) que conectan, de manera alternativa, a los dos terminales de salida (X1, X2) con los extremos de la disposición capacitiva, para un estado activado del sub-módulo, o los cortocircuitan entre sí, para un estado desactivado del sub-módulo, estando el convertidor **caracterizado** porque comprende el sistema de medida según una cualquiera de las reivindicaciones
30 anteriores, con cada uno de dichos sensores de tensión (SEN_{s1} , SEN_{s2} ; SEN_{i1} , SEN_{i2}) conectado entre los terminales extremos de unas respectivas disposiciones en serie de dos o más sub-módulos ($SMs(1) \dots SMs(n)$; $SMi(1) \dots SMi(n)$).

12.- Convertidor según la reivindicación 11, caracterizado porque comprende unos medios de modulación (5) que generan una señal de modulación, y unos medios de control de equilibrado (3) que reciben dicha señal de modulación, por una entrada (6), y los valores de tensión medidos, estimados y actualizados por parte de los medios de procesamiento, por otra entrada (2), y, en base a la señal y los valores recibidos y a un criterio de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas, genera y envía, por una respectiva salida (4), a los medios de conmutación (SW) de los sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)) y a los medios de procesamiento unas señales de activación/desactivación.

13.- Método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía, donde dicho convertidor de potencia comprende al menos una fase formada por dos semi-fases, cada una de las cuales comprende dos o más sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)) conectados en serie, y donde cada sub-módulo comprende una disposición capacitiva que comprende uno o más condensadores (C), dos terminales de salida (X1, X2) y unos medios de conmutación (SW) que conectan, de manera alternativa, a los dos terminales de salida (X1, X2) con los extremos de la disposición capacitiva, para un estado activado del sub-módulo, o los cortocircuitan entre sí, para un estado desactivado del sub-módulo, estando el método de medida **caracterizado** porque comprende realizar, de manera automática, las siguientes etapas:

- realizar dos o más medidas, al menos una por semi-fase, de la tensión existente entre los terminales extremos de una disposición en serie de al menos dos sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n));

- realizar un proceso de validación de al menos una de dichas dos o más medidas de tensión, a partir de al menos información sobre el estado activado/desactivado de cada sub-módulo (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)), y en el caso de que dicha validación ofrezca un resultado positivo determinar que la medida validada se corresponde substancialmente con una medida real de tensión en la disposición capacitiva de un sub-módulo activado de su respectiva disposición en serie de sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)); y

- estimar las tensiones en las disposiciones capacitivas de los sub-módulos desactivados y, si la medida de tensión no ha sido validada, también de los sub-módulos activados.

14.- Método según la reivindicación 13, caracterizado porque comprende establecer que dicho proceso de validación ofrece un resultado positivo si la medida de tensión ha sido realizada cuando solamente un sub-módulo de la respectiva disposición en serie de sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)) se encontraba activado y éste es el que incluye a dicha disposición capacitiva respecto a la cual determinar dicha medida real de tensión.

15.- Método según la reivindicación 14, caracterizado porque comprende, para medir la tensión de la disposición capacitiva de un sub-módulo de interés, realizar las siguientes etapas:

10 a) realizar dicha medida de la tensión existente entre los terminales extremos de una disposición en serie de dos o más sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)) que incluyan a dicho sub-módulo de interés, y una medida de al menos la corriente que pasa por la semi-fase que lo incluye;

15 b) comprobar si se encuentra activado uno solo de dichos dos o más sub-módulos (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)), y si es así, comprobar si el sub-módulo que se encuentra activado es dicho sub-módulo de interés;

20 b1) si cualquiera de dichas dos comprobaciones ofrece un resultado negativo, estimar la tensión en la disposición capacitiva del sub-módulo de interés a partir del valor de corriente medido de la semi-fase, del valor de la disposición capacitiva y de información sobre el estado activado/desactivado del sub-módulo de interés; y

25 b2) si la dos comprobaciones ofrecen un resultado positivo, considerar la medida de tensión como válida y determinar que se corresponde substancialmente con una medida real de tensión de la disposición capacitiva del sub-módulo de interés, actualizar una posible estimación previa, si es el caso, y enviar el valor de tensión de dicha medida real a dichos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas del convertidor.

30 16.- Método según la reivindicación 15, caracterizado porque dicha etapa b1) comprende:

b1a) enviar el valor de tensión estimado a unos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas del convertidor;
o

5 b1b) contar el tiempo que llevan sin actualizarse las medidas de tensión para la disposición capacitiva del sub-módulo de interés, y si éste es superior a un valor límite y superior al contado para las medidas de tensión para las disposiciones capacitivas del resto de sub-módulos, modificar el valor de tensión estimado y enviar dicho valor modificado a unos medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas del convertidor para que fueren la activación del sub-módulo de interés.

10 17.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16, caracterizado porque comprende utilizar el sistema de medida según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para la medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía.

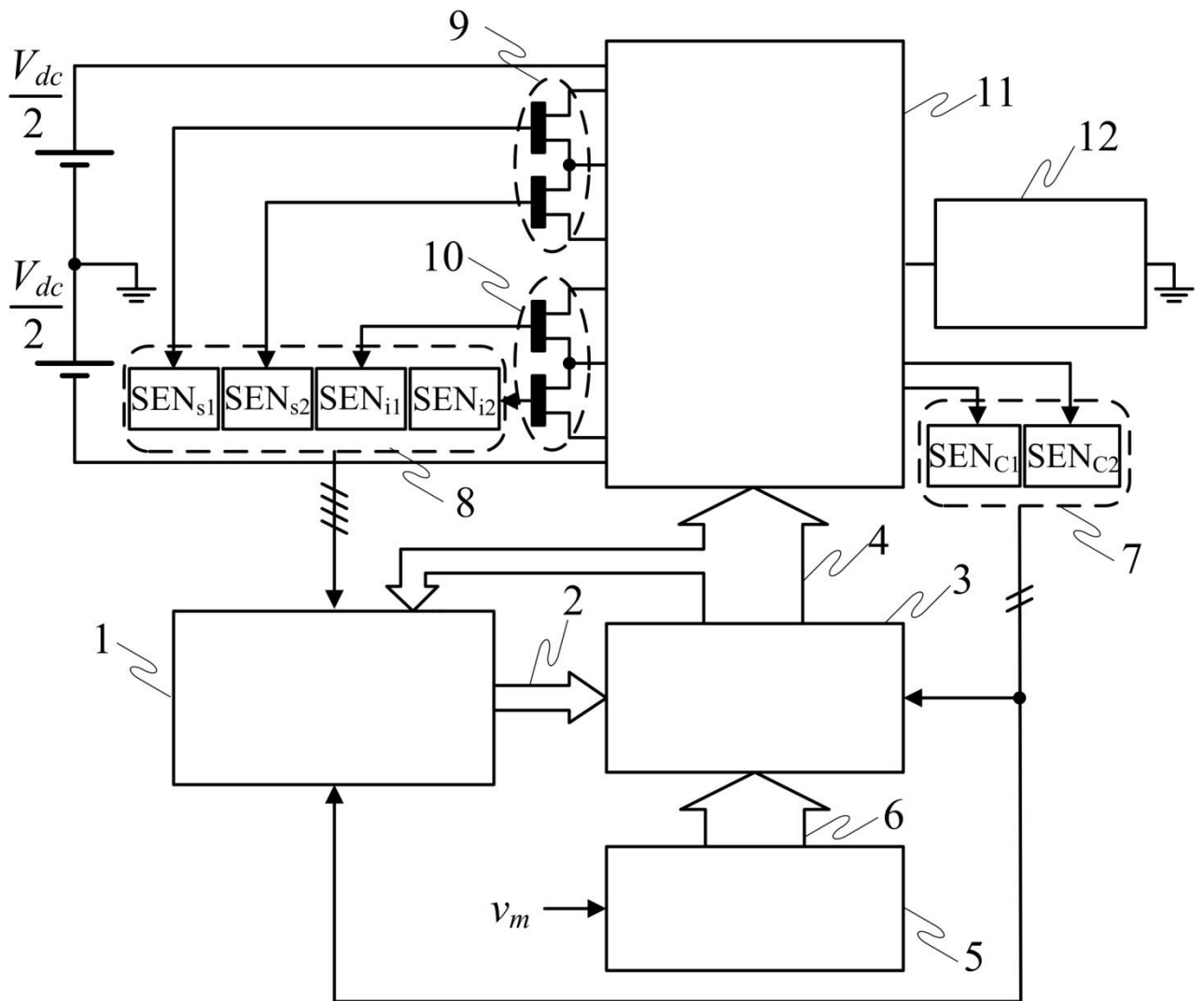


Fig. 1

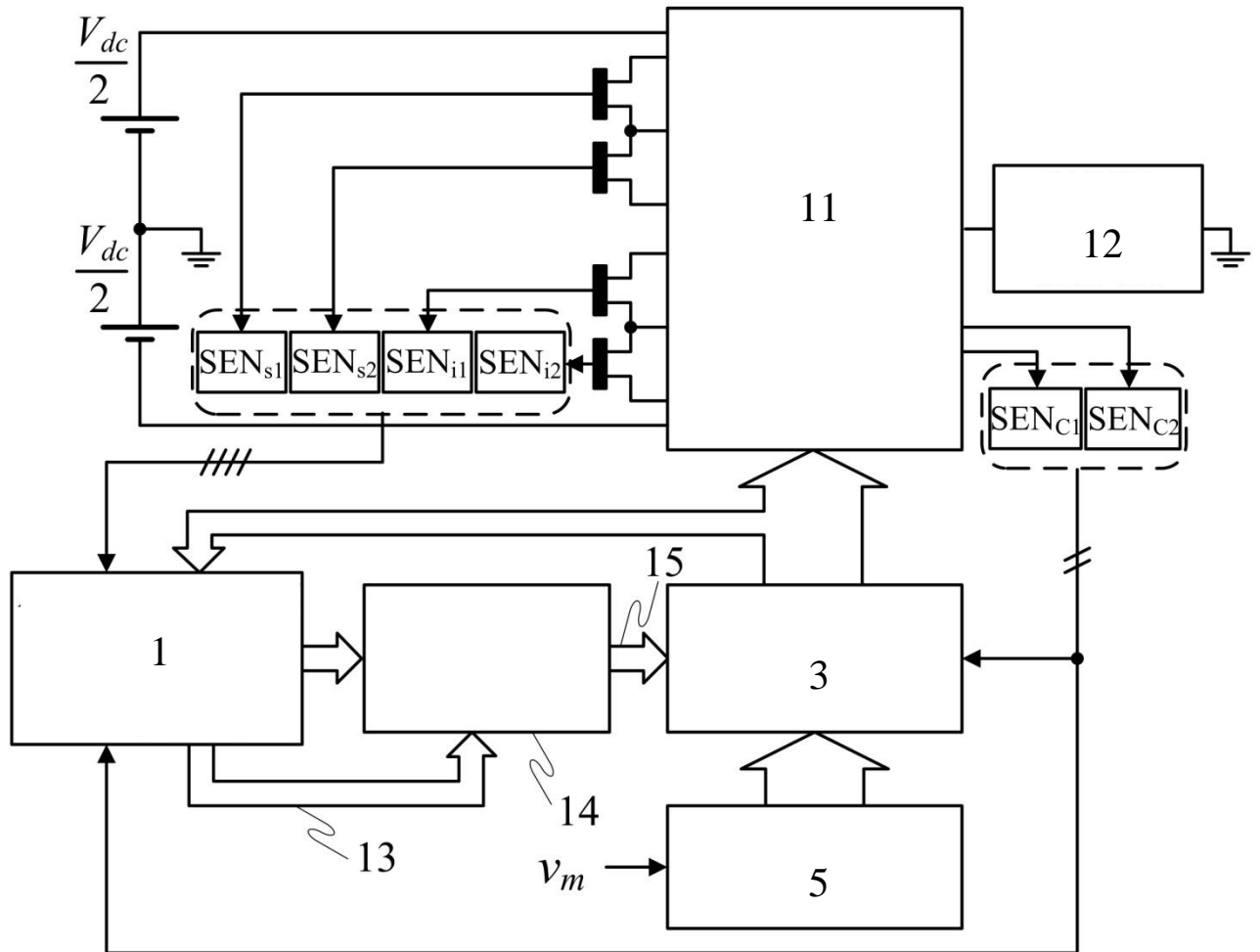


Fig. 2

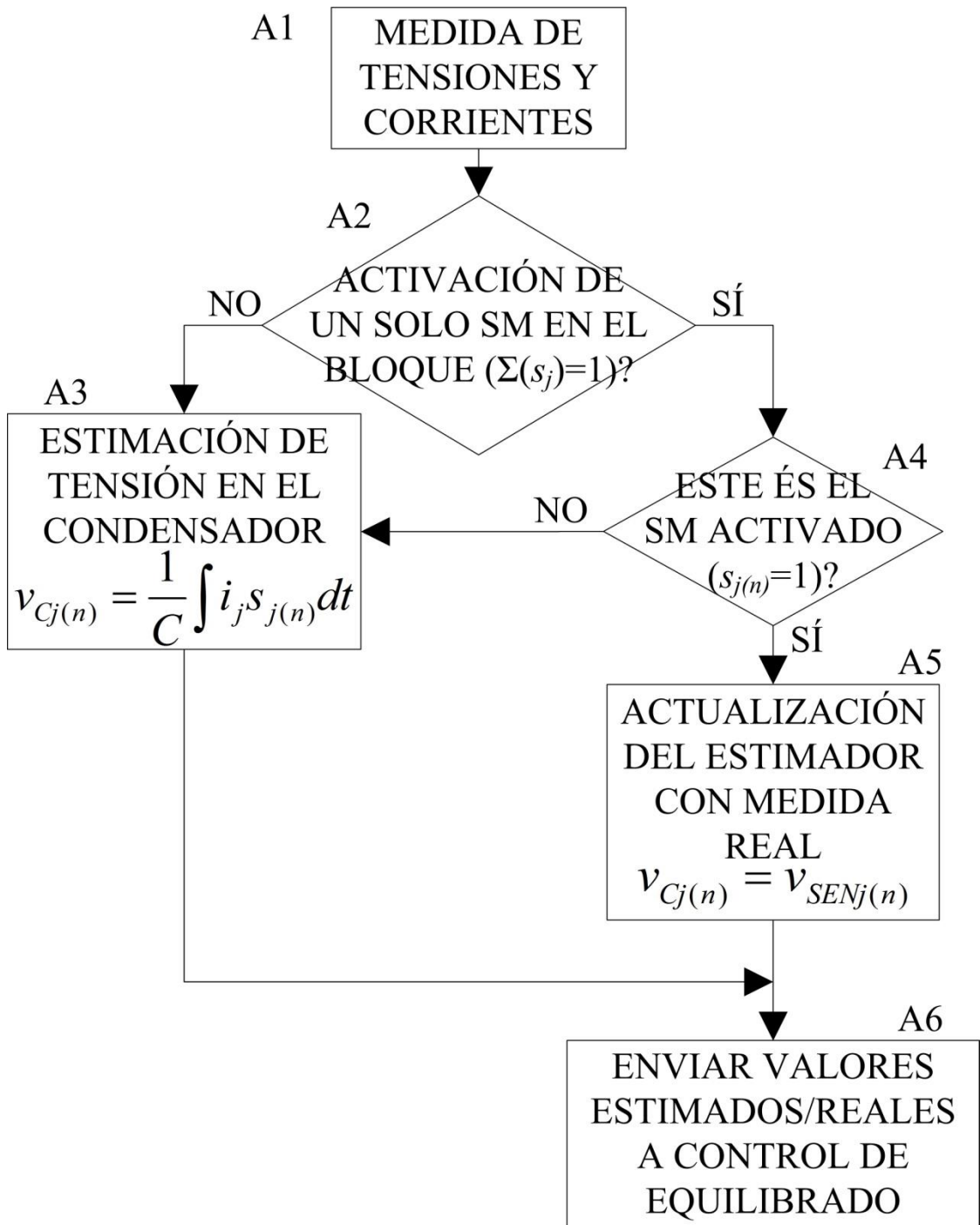


Fig. 3

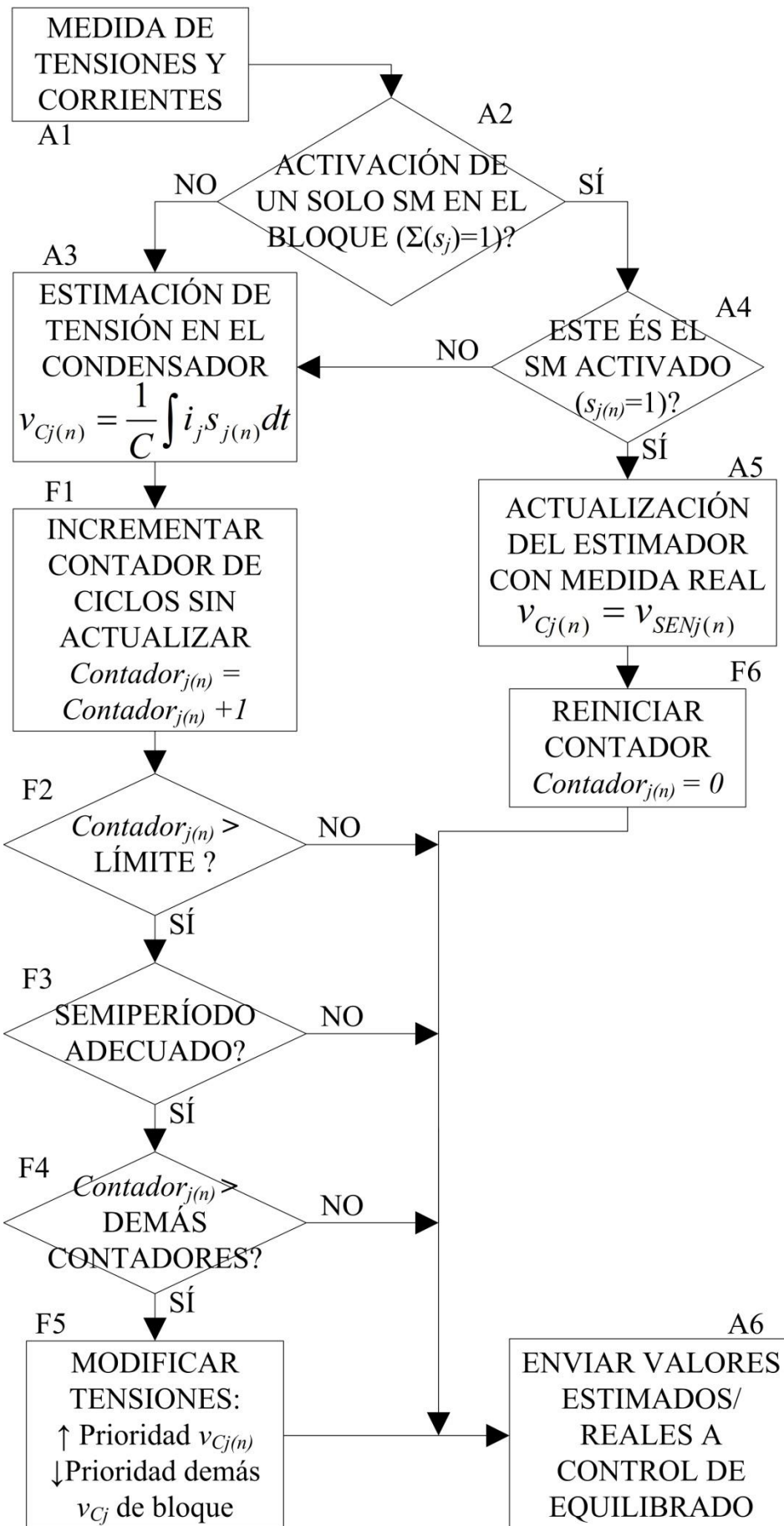


Fig. 4

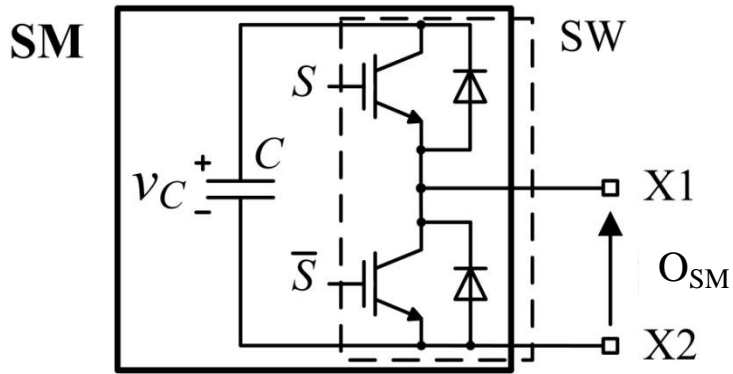


Fig. 5

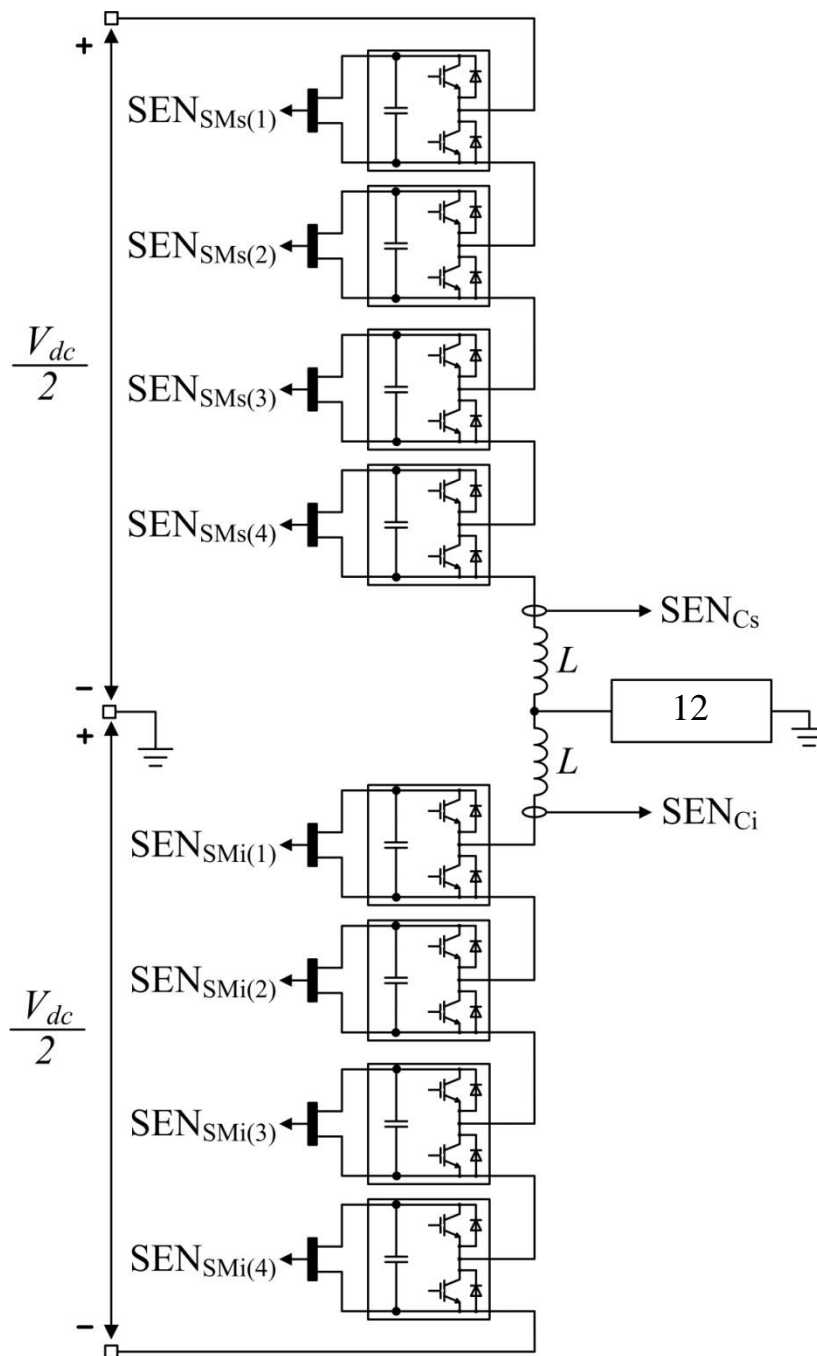


Fig. 6

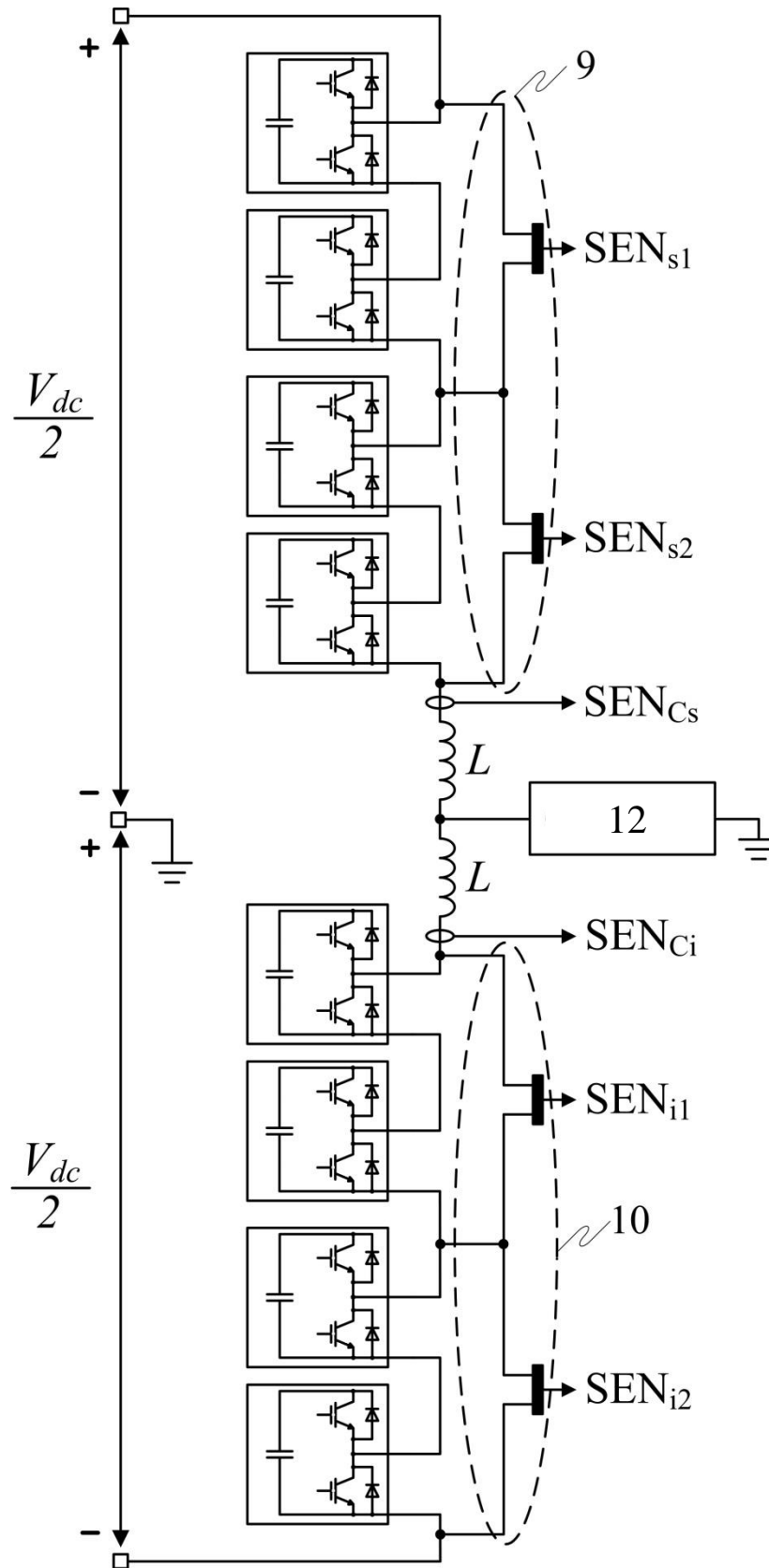


Fig. 7

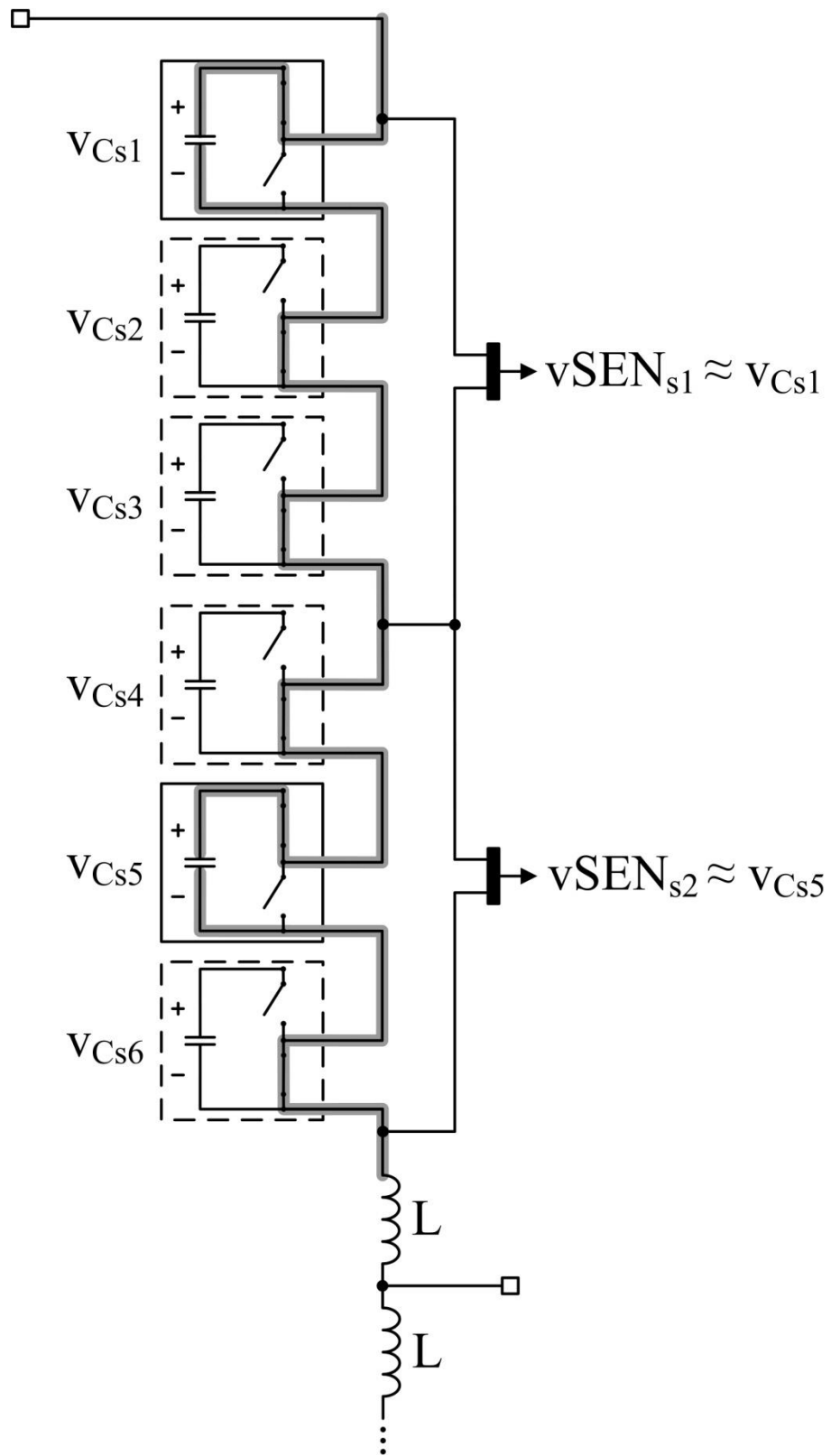


Fig. 8

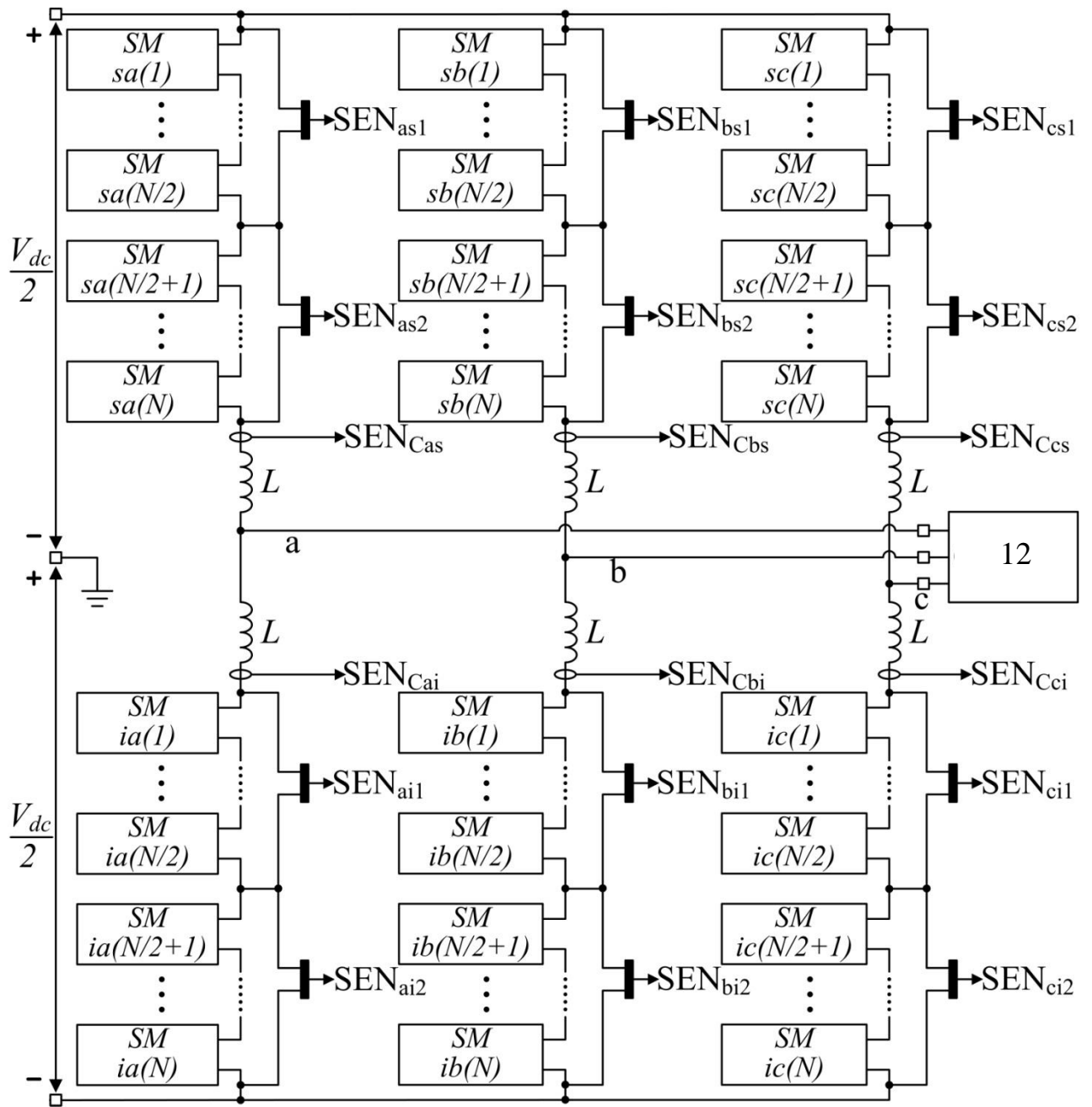


Fig. 9

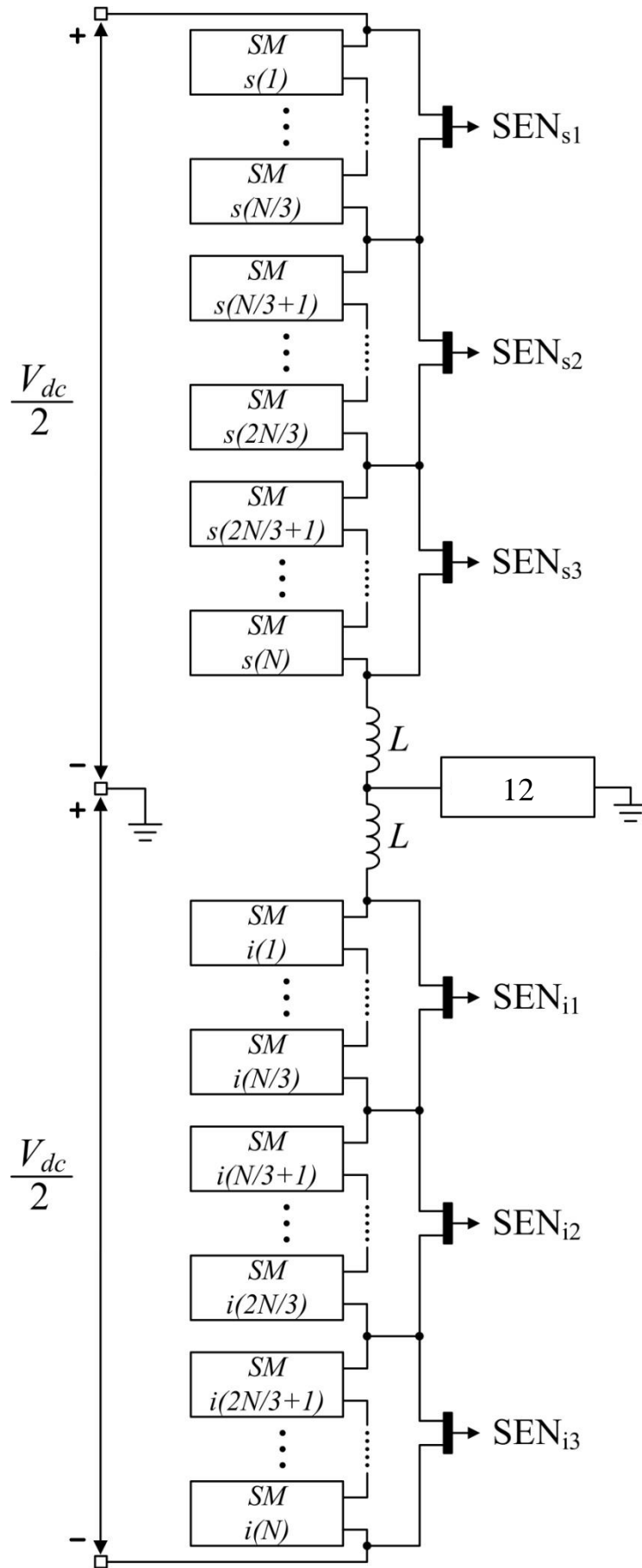


Fig. 10

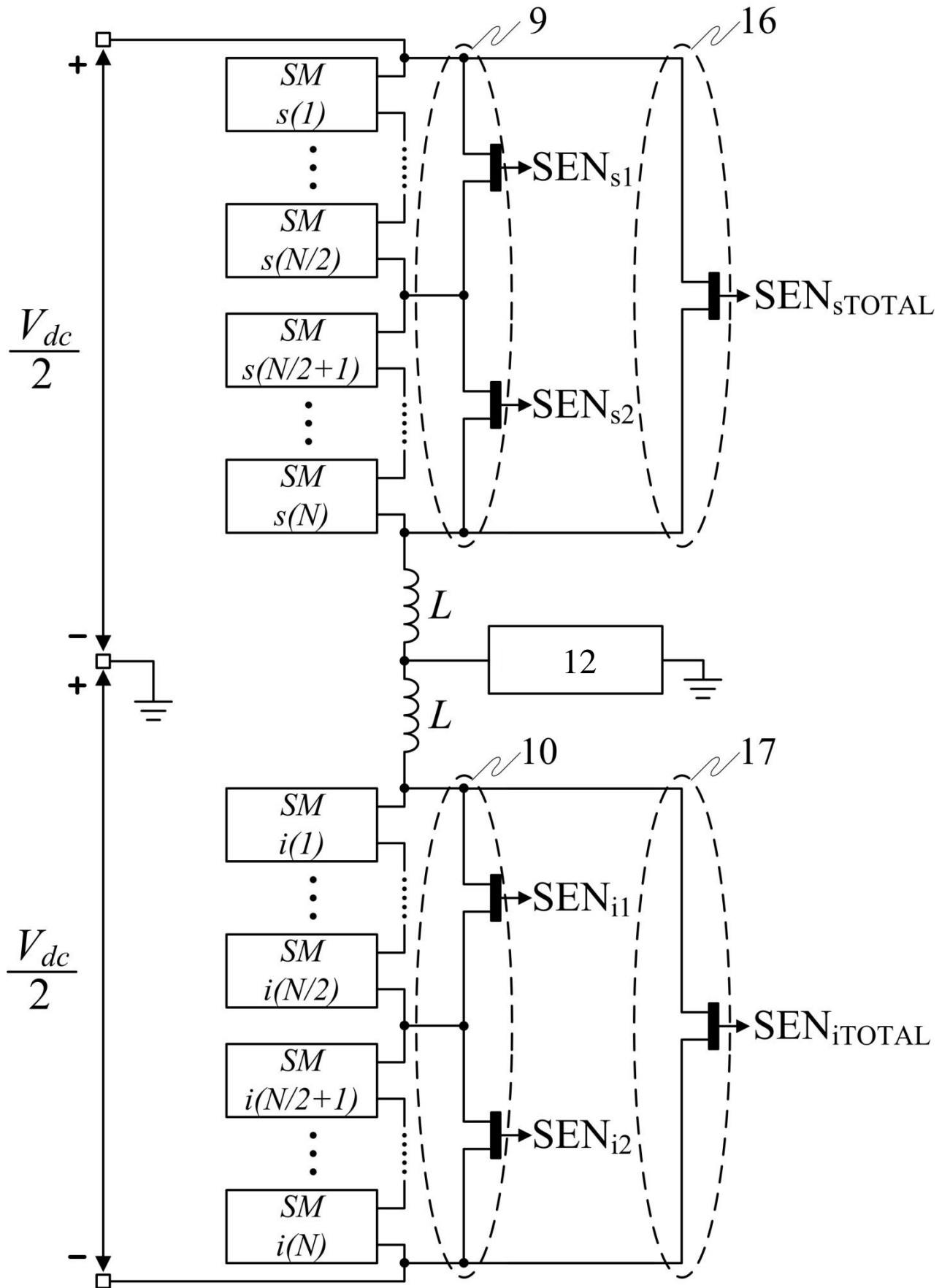


Fig. 11

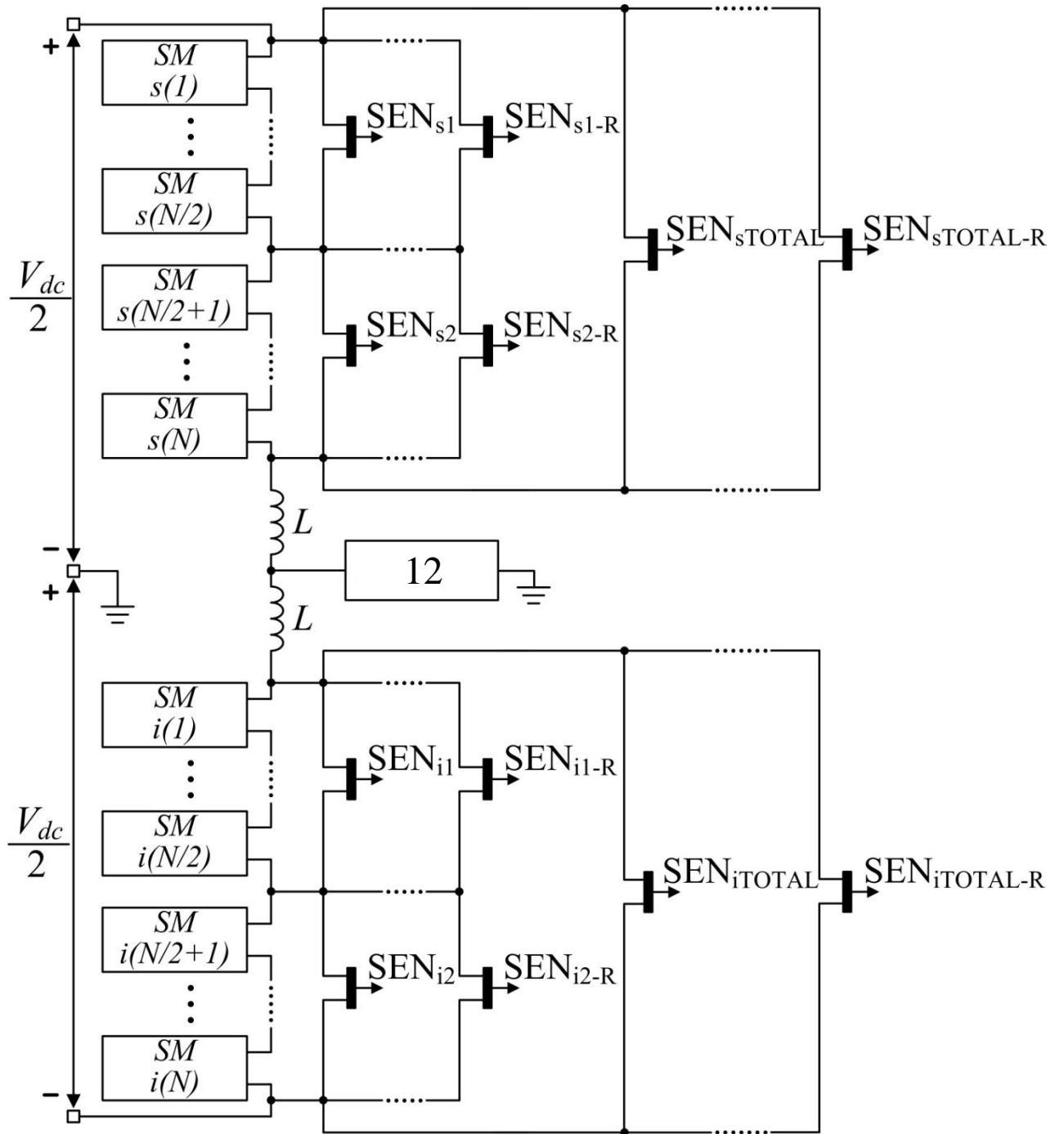


Fig. 12

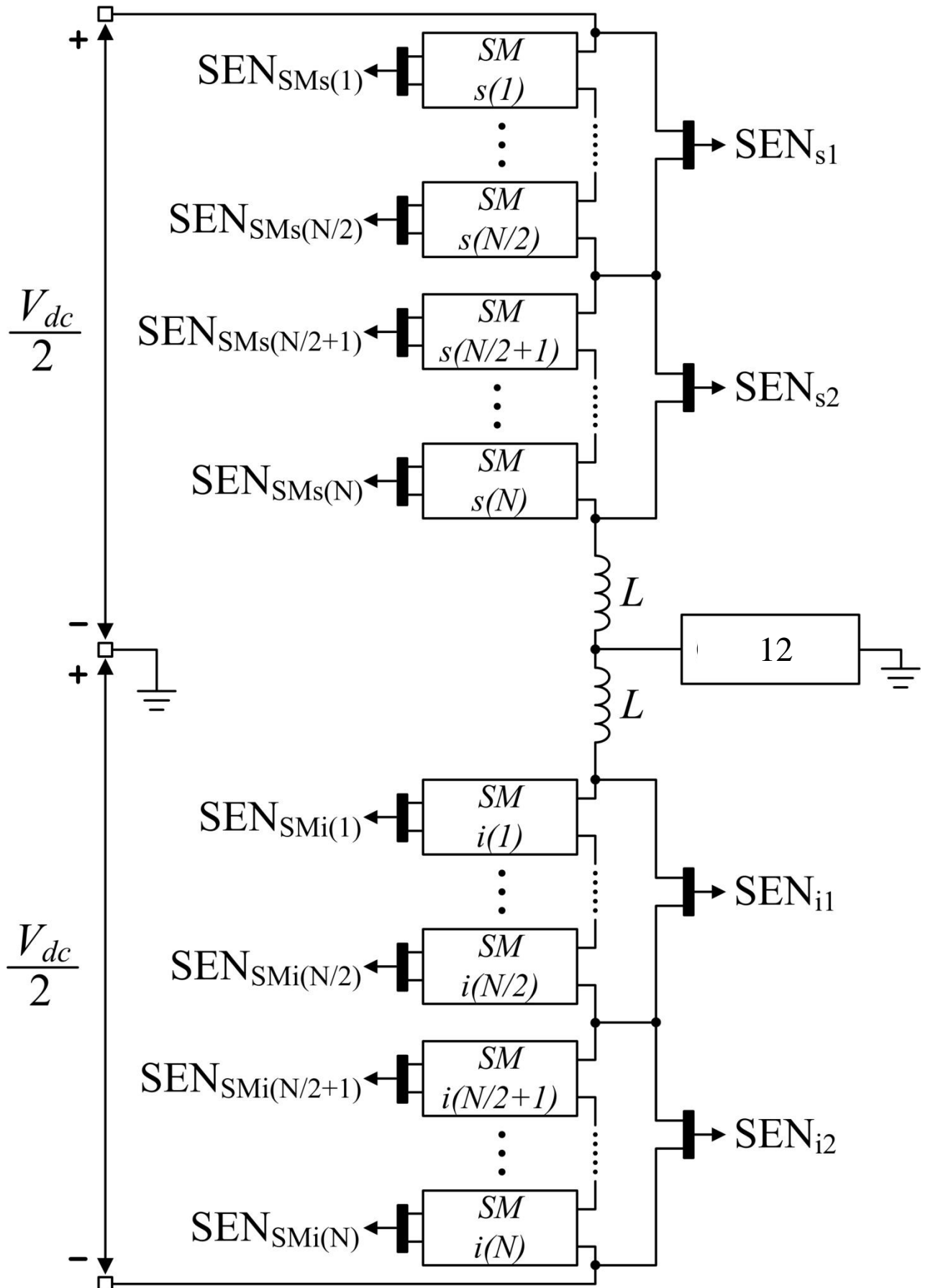


Fig. 13

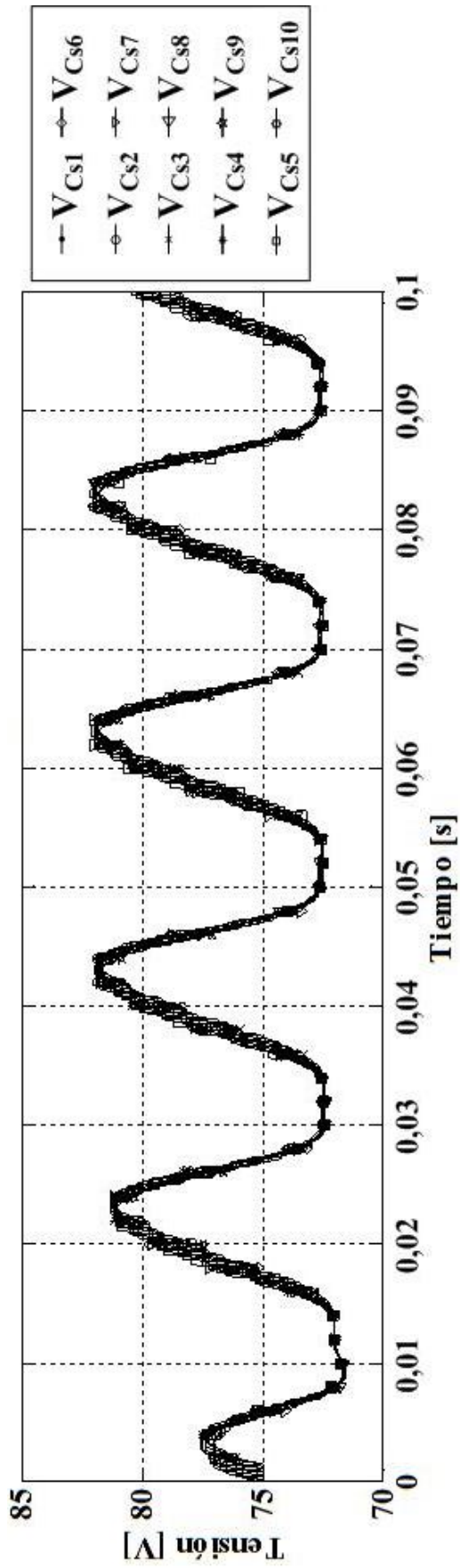


Fig. 14 (a)

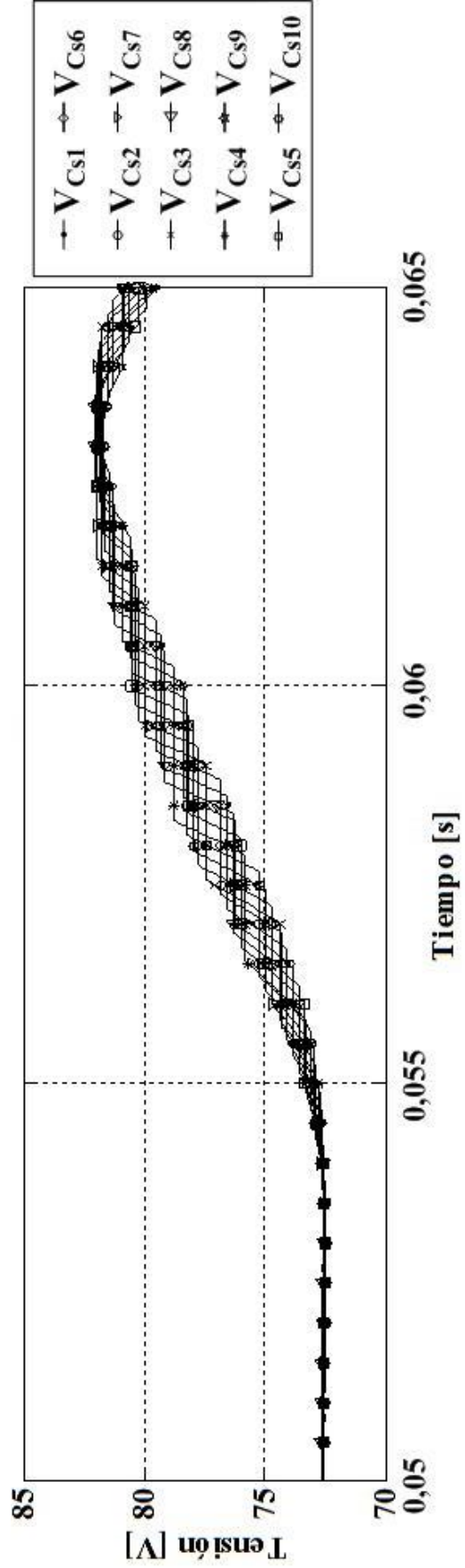


Fig. 14 (b)

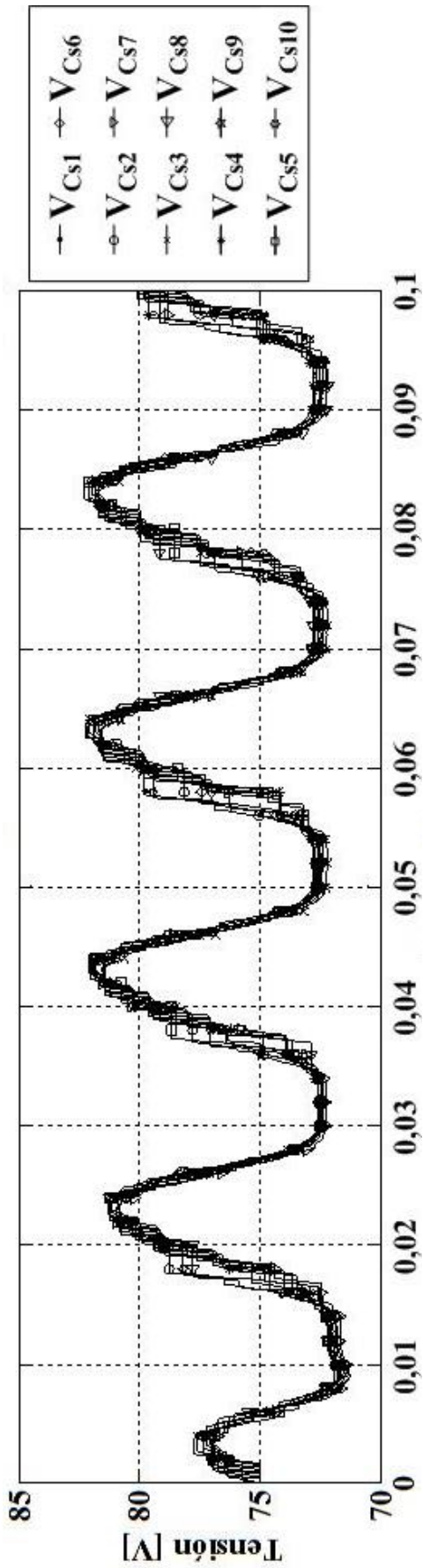


Fig. 14 (c)

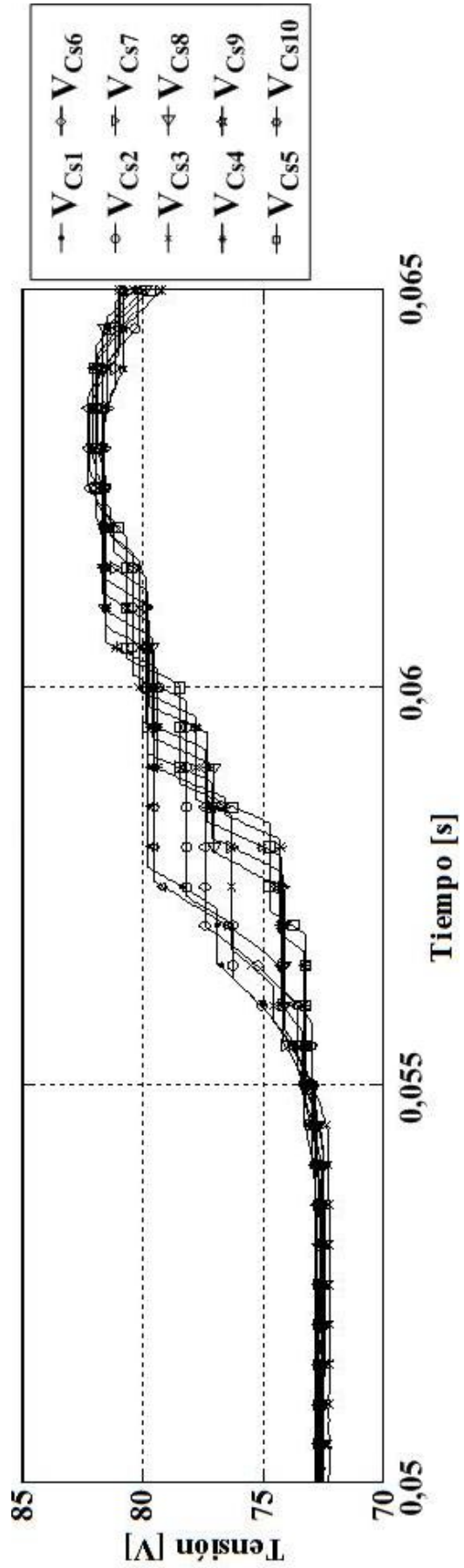


Fig. 14 (d)

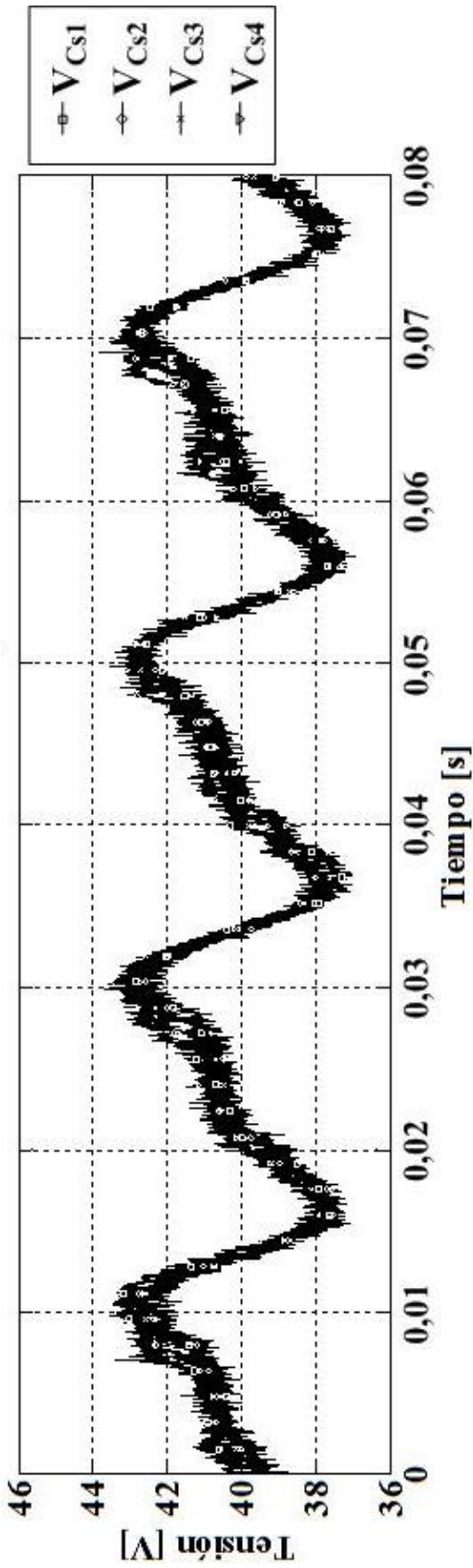


Fig. 15(a)

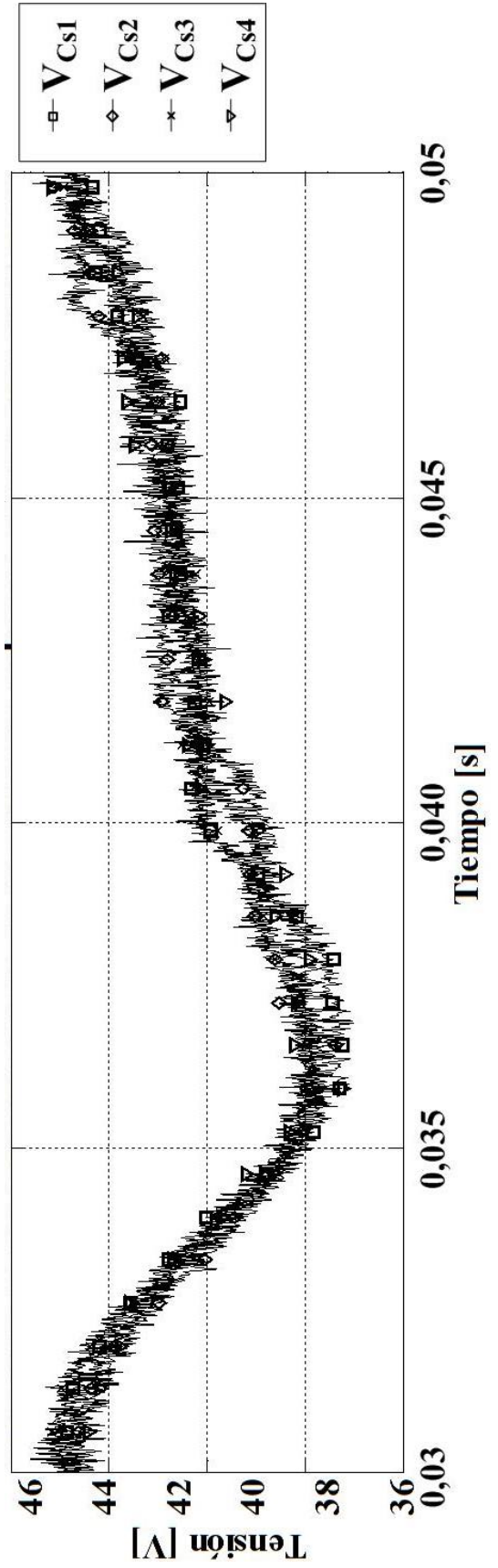


Fig. 15(b)

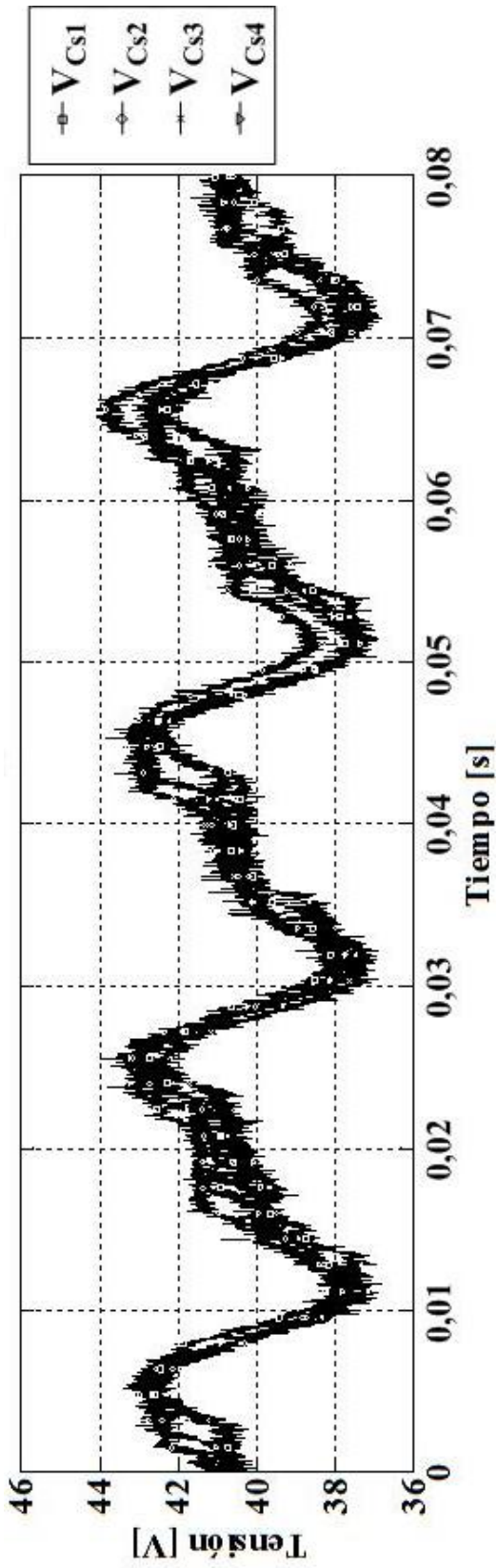


Fig. 15 (c)

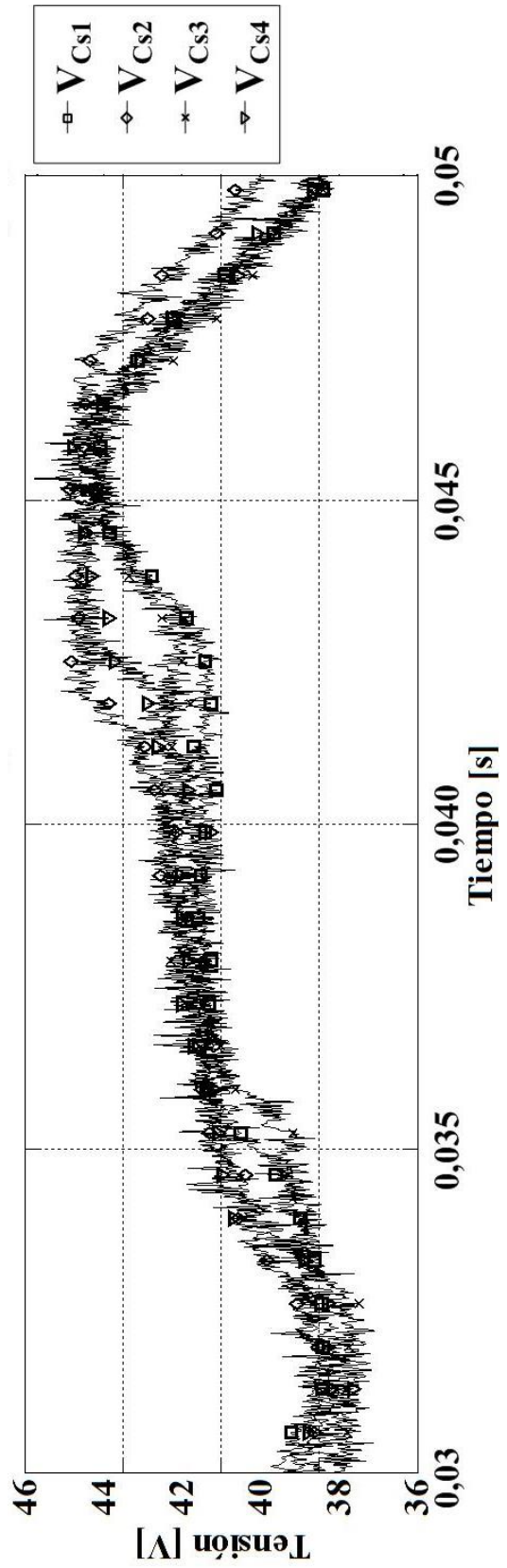


Fig. 15 (d)



- ① N.º solicitud: 201430893
 ② Fecha de presentación de la solicitud: 11.06.2014
 ③ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.: **H02M7/483** (2007.01)
G01R19/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 2549634 A1 (HITACHI LTD) 23.01.2013, párrafos [0011-0030,0104-0119]; figuras.	1-17
A	WO 2009149743 A1 (ABB TECHNOLOGY AG et al.) 17.12.2009, página 10, línea 10 – página 15, línea 31; figuras.	1-17
A	WO 2012140008 A2 (SIEMENS AG et al.) 18.10.2012, página 14, línea 1 – página 27, línea 19; figuras.	1-17
A	WO 2007023064 A1 (SIEMENS AG et al.) 01.03.2007, resumen; figuras.	1-17

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
20.01.2015

Examinador
J. Calvo Herrando

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H02M, G01R

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 20.01.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-17	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-17	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 2549634 A1 (HITACHI LTD)	23.01.2013
D02	WO 2009149743 A1 (ABB TECHNOLOGY AG et al.)	17.12.2009
D03	WO 2012140008 A2 (SIEMENS AG et al.)	18.10.2012
D04	WO 2007023064 A1 (SIEMENS AG et al.)	01.03.2007

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El objeto principal de la invención es un sistema y método de medida de las tensiones de las disposiciones capacitivas de los sub-módulos de un convertidor de potencia multinivel con almacenamiento distribuido de energía y convertidor MMC. Se considera como el documento del estado de la técnica más próximo al objeto reivindicado el documento D01 como se explica a continuación:

Reivindicación independiente R1

El documento D01 (figuras) describe un aparato de conversión de potencia eléctrica que comprende al menos una fase formada por dos semifases (104), cada una de las cuales comprende uno o más submódulos (105) conectados en serie, y donde cada submódulo presenta unos medios de conmutación (201,202) conectados a uno o más condensadores (203) con un sensor de tensión (207) y un elemento de procesamiento (204) que recibe las medidas de tensión realizadas por el sensor.

Por tanto, la diferencia entre el documento D01 y el objeto de la presente invención es que la medida de tensión realizada por los sensores se realiza **entre dos o más submódulos** en lugar de medir la tensión en cada submódulo. A partir de estas medidas de tensión reales y del estado activado/desactivado de los submódulos se estima el valor del resto de tensiones, con lo que se consigue reducir el número de sensores de tensión utilizados en este tipo de convertidores.

A la vista del estado de la técnica más cercano a la invención, se considera que ninguno de los documentos citados (tomados solos o en combinación) revelan la invención definida en la reivindicación R1. Además, en estos documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia hacia la invención definida por esta reivindicación.

En consecuencia, las características descritas por la reivindicación R1 cumplen con el requisito de novedad y actividad inventiva establecidos en el Art. 6.1 y Art. 8.1 LP.

Reivindicación dependiente R2-R12

La invención de acuerdo con la reivindicación independiente R1 es nueva e implica actividad inventiva. En consecuencia, las reivindicaciones dependientes R2-R12 también cumplen los requisitos establecidos en el Art. 6.1 y Art. 8.1 LP respecto a la novedad y actividad inventiva.

Reivindicación independiente R13

El documento D01 (figuras) describe un aparato de conversión de potencia eléctrica que comprende al menos una fase formada por dos semifases (104), cada una de las cuales comprende uno o más submódulos (105) conectados en serie, y donde cada submódulo presenta unos medios de conmutación (201,202) conectados a uno o más condensadores (203) con un sensor de tensión (207) y un elemento de procesamiento (204) que recibe las medidas de tensión realizadas por el sensor.

Además de la diferencia ya mencionada entre el documento D01 y el objeto de la presente invención sobre la medida de tensión, que es realizada por los sensores entre dos o más submódulos en lugar de medir la tensión en cada submódulo, no sería obvio para un experto en la materia realizar un método de medidas de tensión reales y estimación del valor del resto de tensiones según el estado activado/desactivado de cada submódulo a partir de lo divulgado por el documento D01.

Por tanto, se considera que ninguno de los documentos citados (tomados solos o en combinación) revelan la invención definida en la reivindicación R13. Además, en estos documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia hacia la invención definida por esta reivindicación.

En consecuencia, las características descritas por la reivindicación R13 cumplen con el requisito de novedad y actividad inventiva establecidos en el Art. 6.1 y Art. 8.1 LP.

Reivindicaciones dependientes R14-R17

Las reivindicaciones R14-R17 son reivindicaciones dependientes de la reivindicación R1. Teniendo en cuenta la argumentación con respecto a la reivindicación R1, la invención de acuerdo con las reivindicaciones R14-R17 cumple el requisito de novedad y actividad inventiva (Art. 6.1 y Art. 8.1 LP).