



- (51) Clasificación Internacional de Patentes:
H02M 7/483 (2007.01) G01R 19/00 (2006.01)
- (21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2015/070456
- (22) Fecha de presentación internacional:
10 de junio de 2015 (10.06.2015)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:
P201430893 11 de junio de 2014 (11.06.2014) ES
- (71) Solicitante: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA [ES/ES]; Til·lers 1a planta, Jordi Girona, 31, Catalunya, 08034 Barcelona (ES).
- (72) Inventores: PICAS PRAT, Ricard; C/Jordi Girona 31, 08034 Barcelona (ES). ZARAGOZA BARTOMEU, Jordi; C/Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona (ES). POU FÈLIX, Josep; C/Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona (ES).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE,

AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR MEASURING THE VOLTAGES OF THE CAPACITIVE ARRANGEMENTS OF THE SUB-MODULES OF A MULTILEVEL POWER CONVERTER WITH DISTRIBUTED ENERGY STORAGE (MMC) AND AN MMC CONVERTER

(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

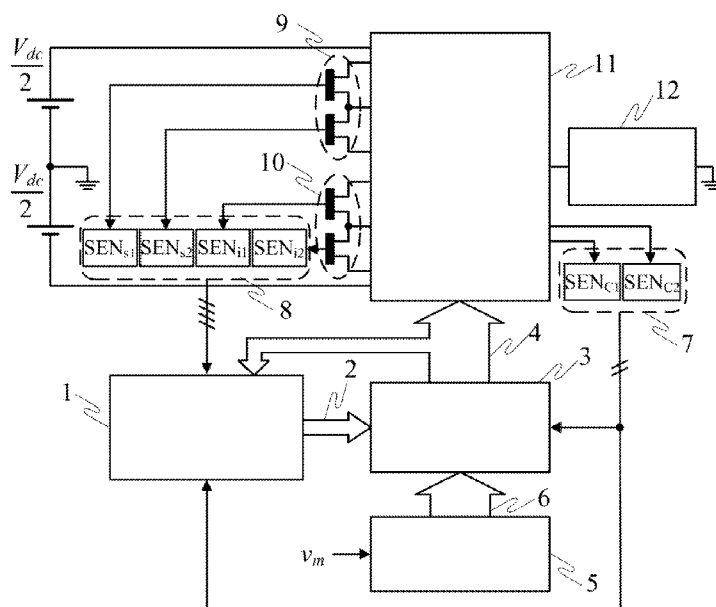


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a system comprising: voltage sensors (SEN_{s1}, SEN_{s2}; SEN_{i1}, SEN_{i2}), each one being designed to measure the voltage between the terminals of an arrangement of sub-modules (SMs(1)...SMs(n); SMi(1)...SMi(n)) in series; and processing means for: determining that the voltage measurement carried out is a real measurement of voltage in the capacitor of an activated sub-module, and estimating the voltages in the capacitors of the deactivated sub-modules; or estimating the voltages in the capacitors of both the deactivated and activated sub-modules. The MMC converter includes the measurement system of the first embodiment. The method comprises combining real measurements with estimated measurements according to the state of activation/deactivation of the sub-modules of the MMC converter.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]



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 ($SMs(1) \dots SMs(n)$; $SMi(1) \dots SMi(n)$); 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.

**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**

5

DESCRIPCIÓN

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.

30

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.

5 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
10 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
15 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,
20 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.

25 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
30 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:

5

[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*.

10

[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.

15

[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.

20

[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.

25

[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.

30

[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.

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:

- 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:

- 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.

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.

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-
5 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.

10 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
15 medios de control de equilibrado de las tensiones en las disposiciones capacitivas.

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
20 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.

25 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.

30 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.

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.

5 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.

10 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
15 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
20 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
25 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:

30 - 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 un resultado positivo determinar que la medida validada se corresponde
5 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 activados.

10 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.

15 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-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
20 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-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
25 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

b2) si la dos comprobaciones ofrecen un resultado positivo, considerar la
30 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.

En general, dicha etapa b1) comprende:

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

10 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.

15 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.

20 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 concreto está activado. De este modo, la tensión medida por los sensores corresponde a
25 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 índice de modulación y número de SMs, el mínimo número de sensores de tensión
30 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.

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 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.

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
5 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
10 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-
15 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
20 comprende dos sensores de tensión por semi-fase.

La Figura 10 muestra una variación de la topología de medida, usando tres 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 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 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 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.

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 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 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 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, 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 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 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 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 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.

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 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 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 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 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
5 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
10 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
15 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
20 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
25 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
30 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 modificarán/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.

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.
- (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.
- 5 (10) Bloques de medida de la semi-fase inferior.
- (11) Convertidor MMC monofásico sin el sistema de medida.
- (12) Carga monofásica o red eléctrica.
- (13) Número de ciclos de conmutación sin actualizarse de cada tensión estimada.
- (14) Algoritmo de forzado de actualización.
- 10 (15) Tensiones estimadas modificadas por el algoritmo de forzado.
- (16) Bloque de medida de la tensión total de la semi-fase superior en sistema redundante.
- (17) Bloque de medida de la tensión total de la semi-fase inferior en sistema redundante.

15 *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
 20 $C=1500 \mu F$, 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 $f_s=5 \text{ kHz}$.

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
 25 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 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.

30 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 las corrientes de las semi-fases y s indica el estado del SM, valiendo 1 cuando está activado y 0 cuando está desactivado ($s_{s(n)}, s_{i(n)} = \{0,1\}$).

5

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 ($SMs(1)...SMs(n)$; $SMi(1)...SMi(n)$), si solamente dicho sub-
5 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 ($SMs(1)...SMs(n)$; $SMi(1)...SMi(n)$).

10 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,
15 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,
20 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 ($SMs(1)...SMs(n)$; $SMi(1)...SMi(n)$).

25 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
30 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.

FIGURAS

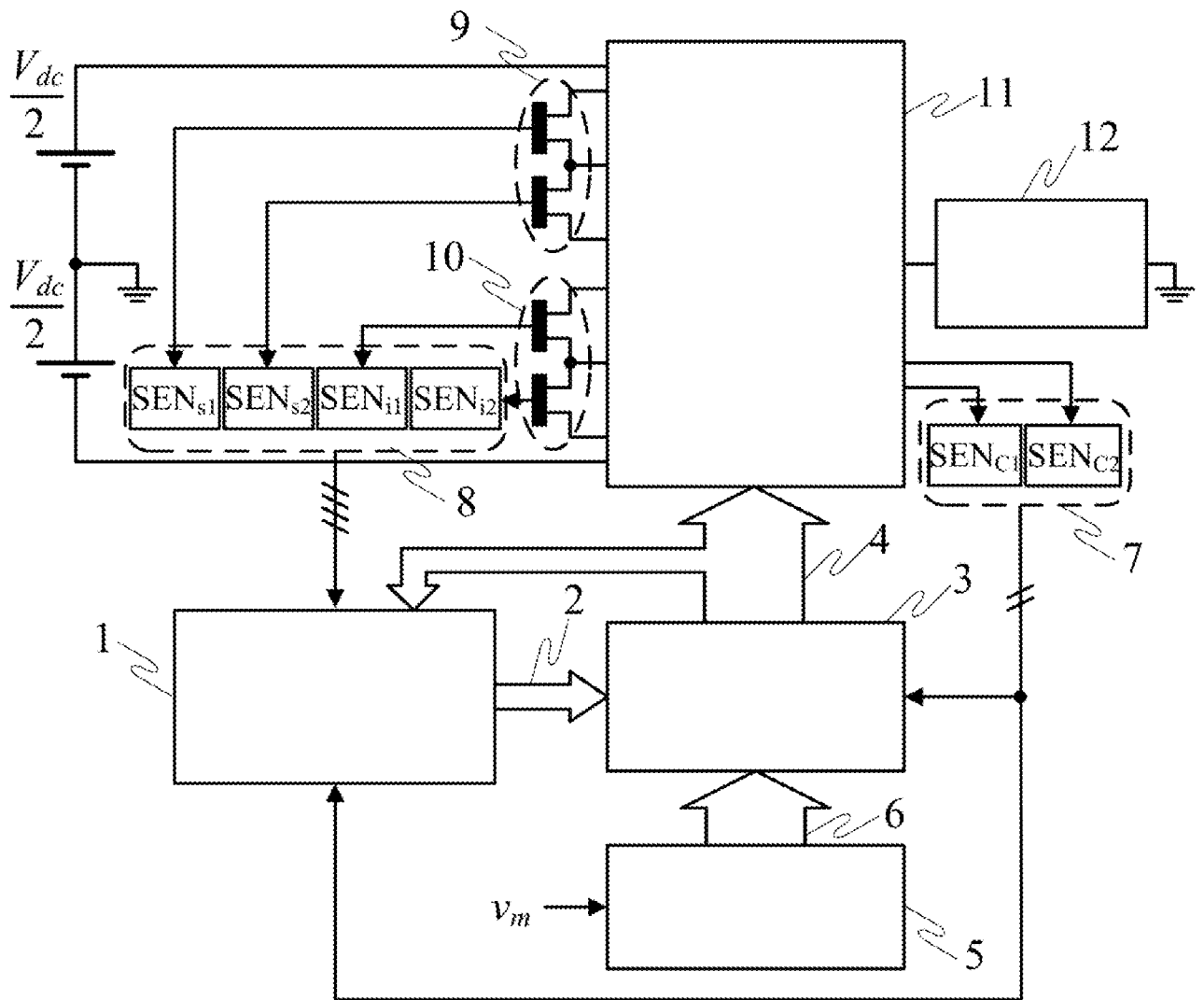


Fig. 1

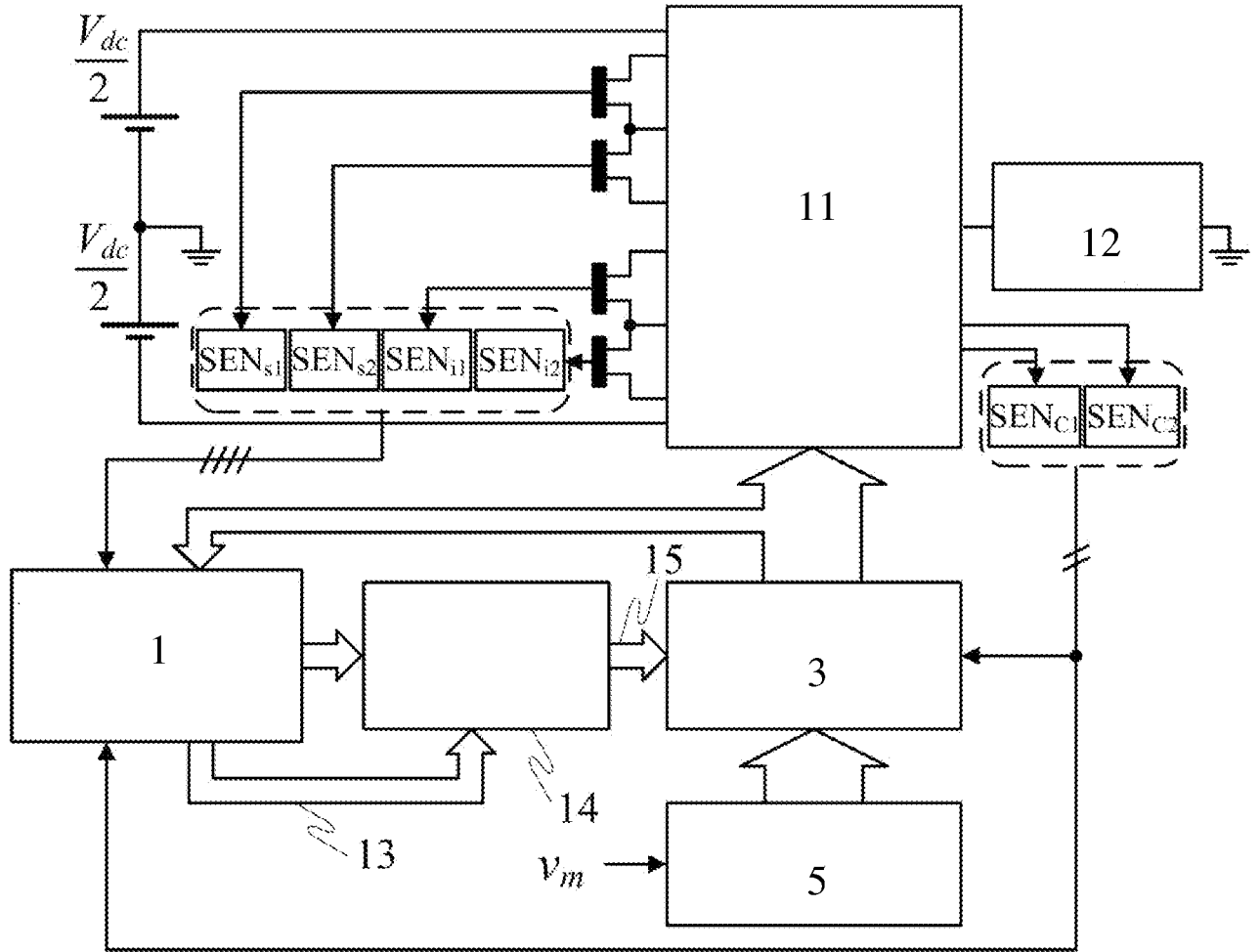


Fig. 2

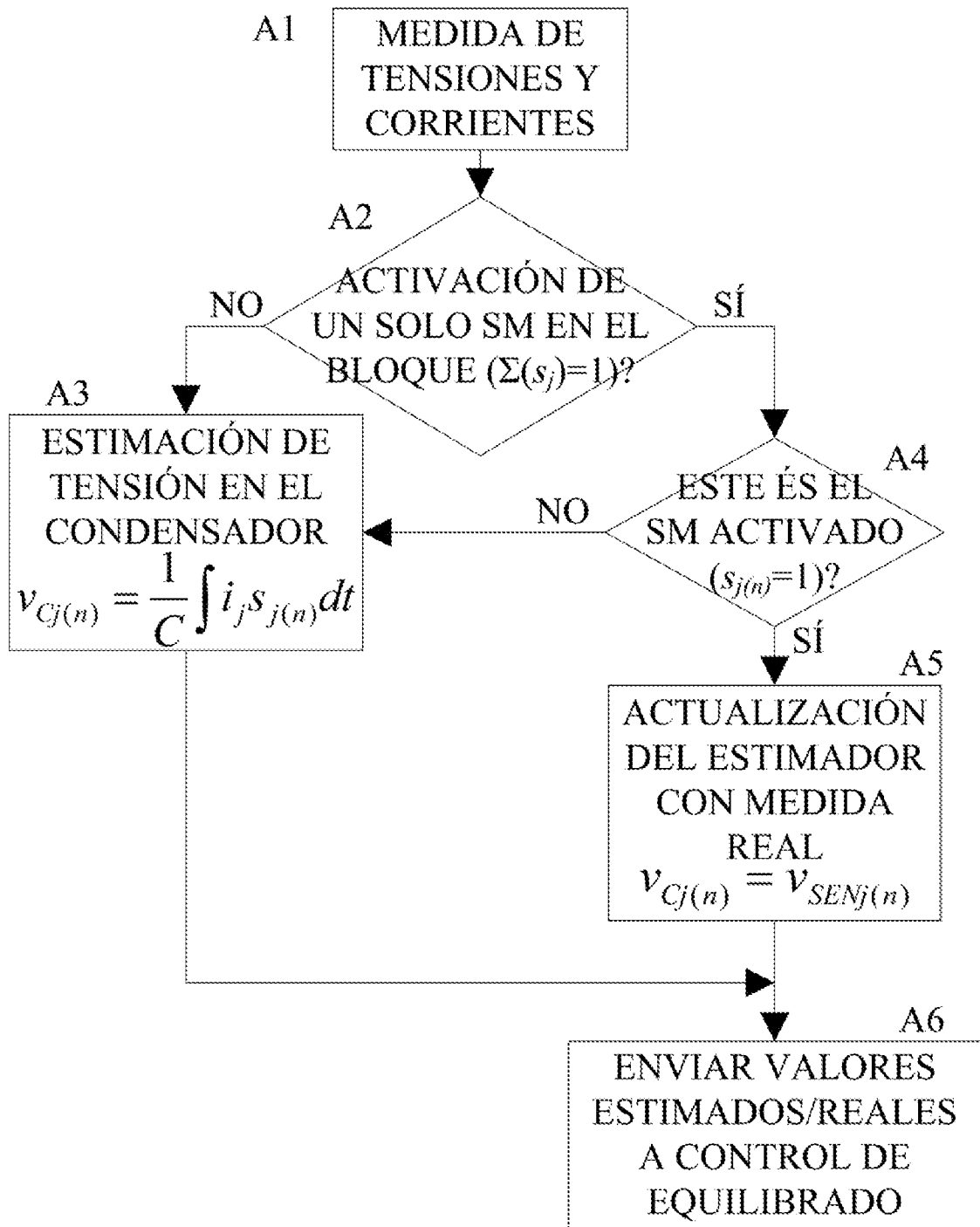


Fig. 3

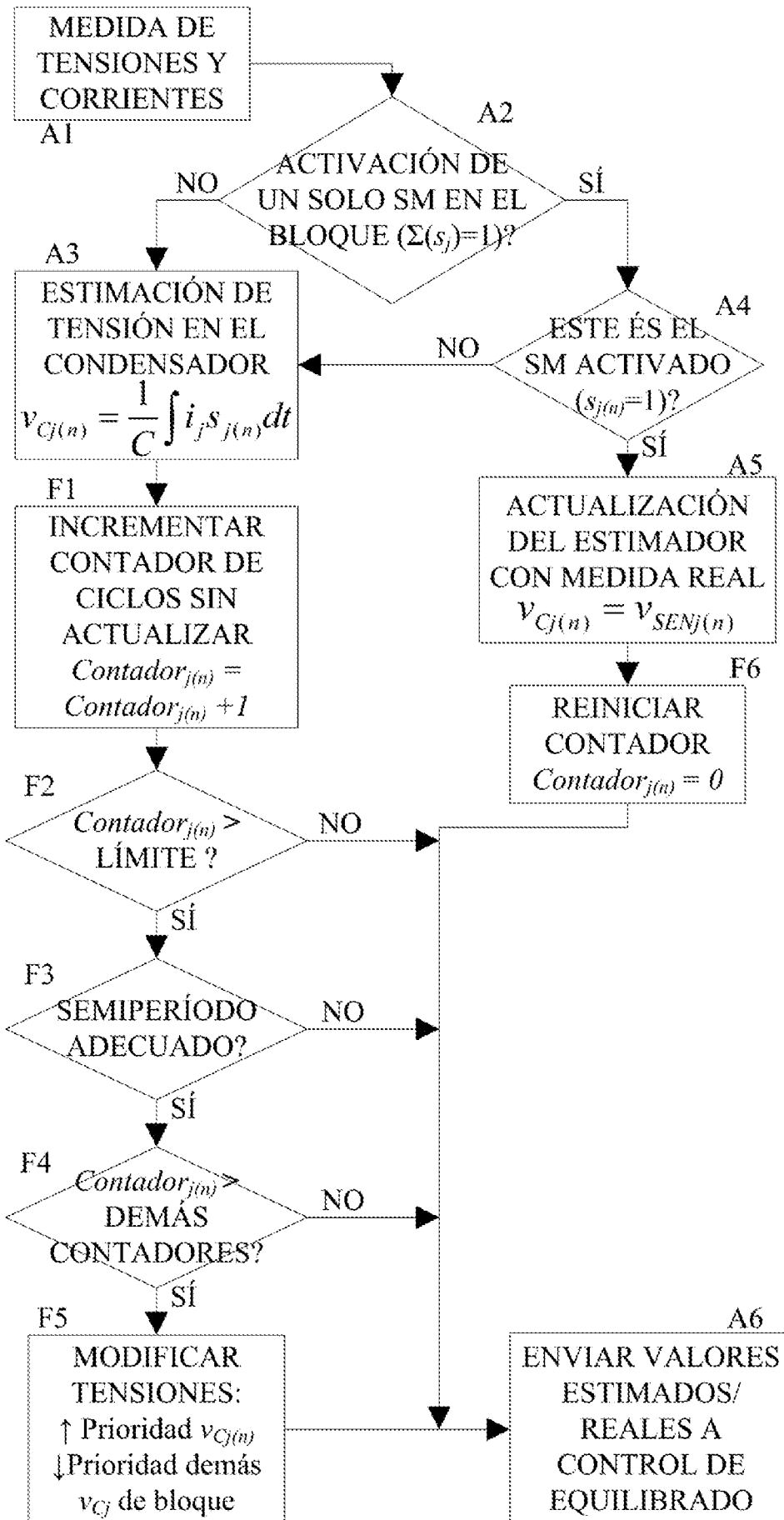


Fig. 4

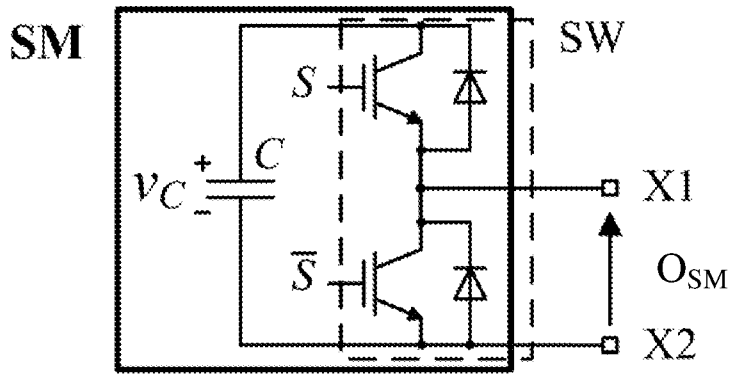


Fig. 5

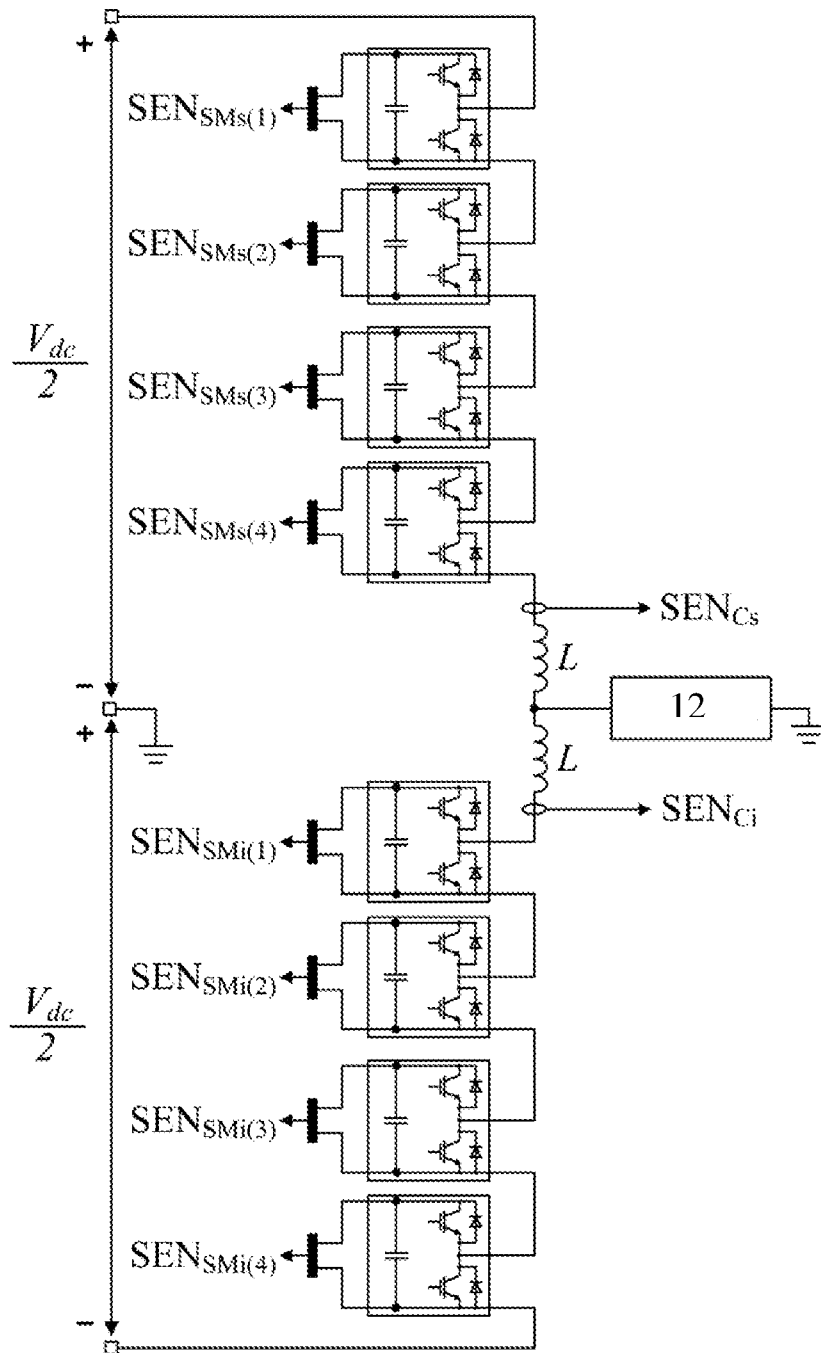


Fig. 6

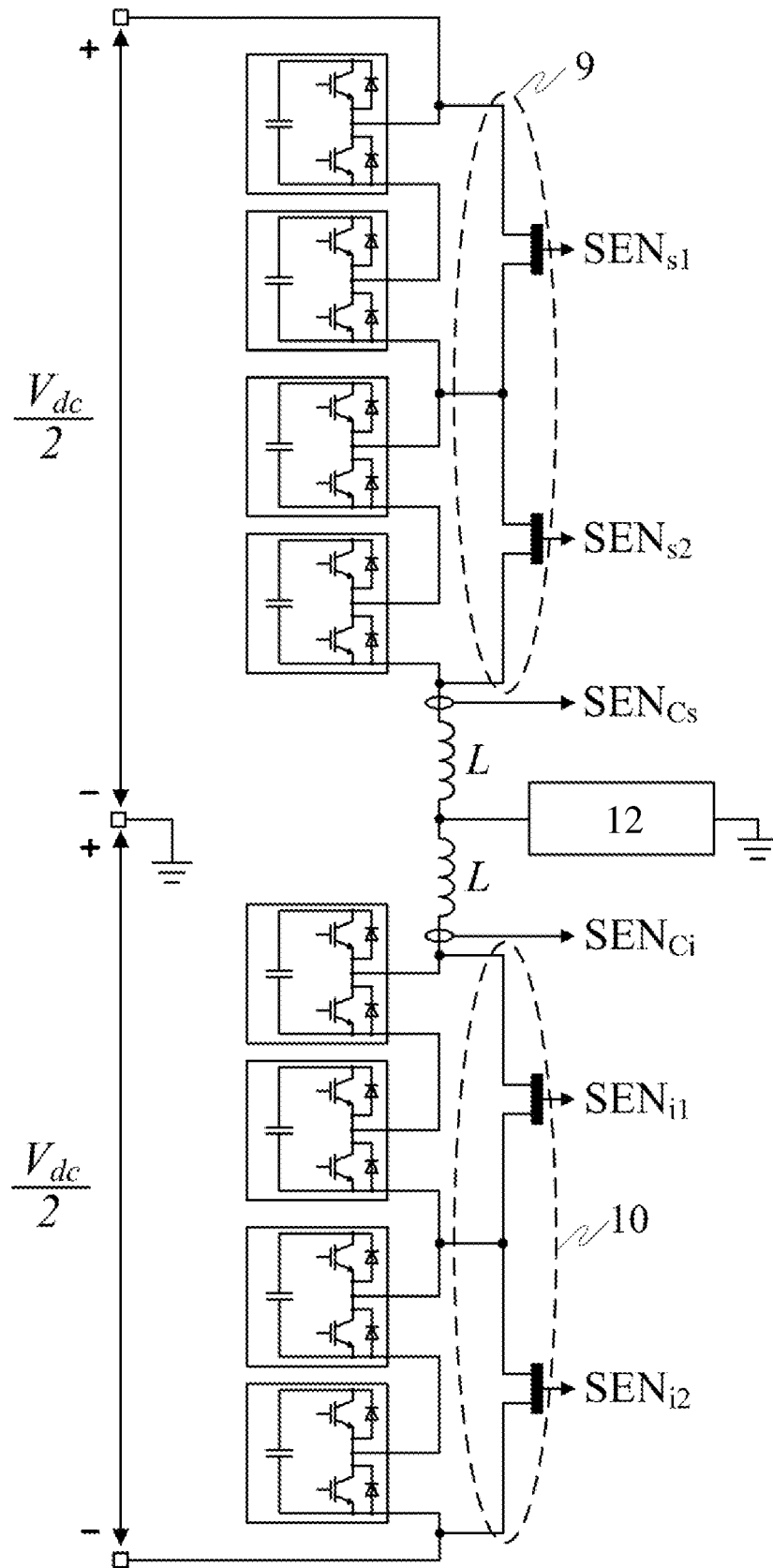


Fig. 7

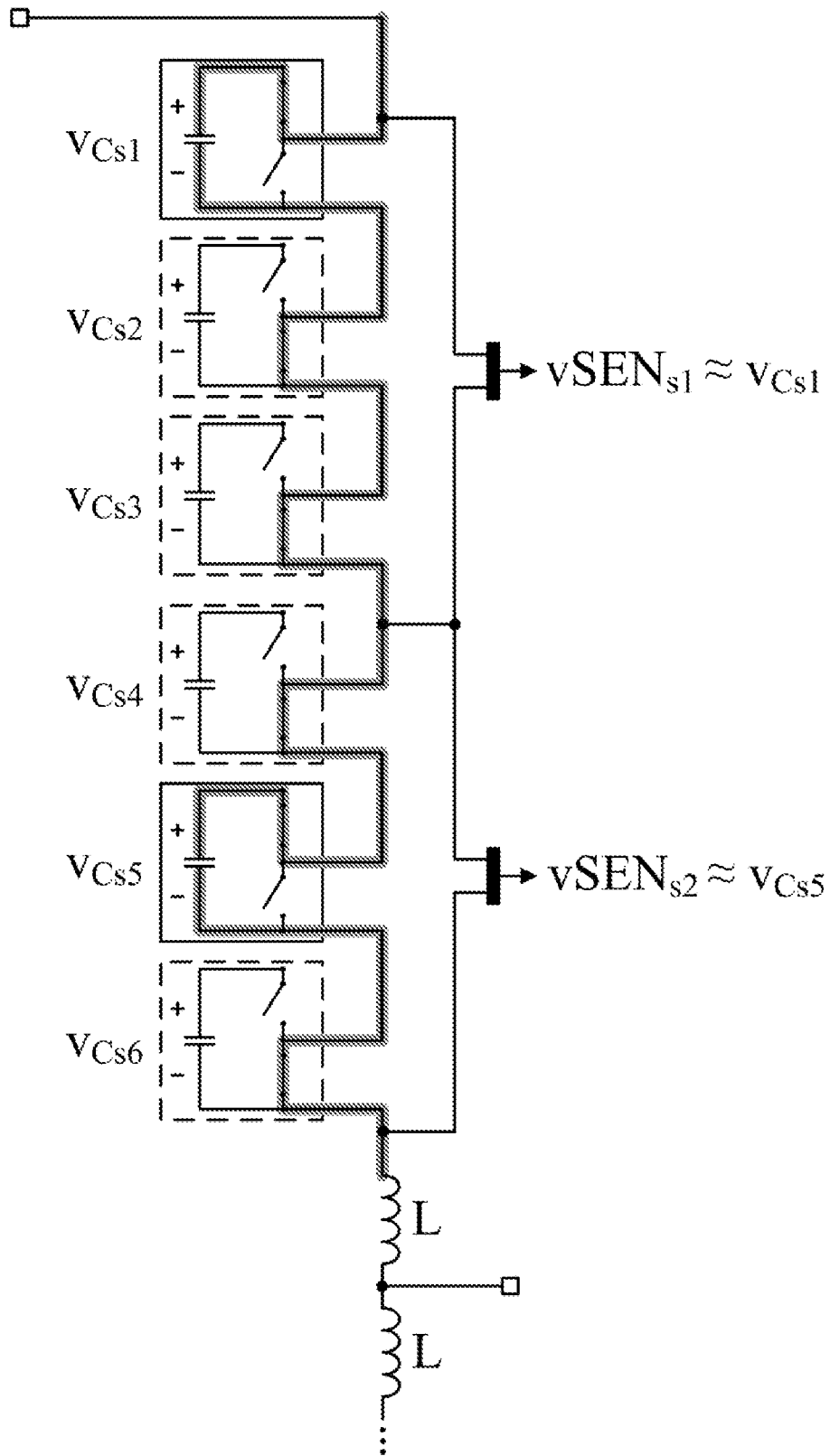


Fig. 8

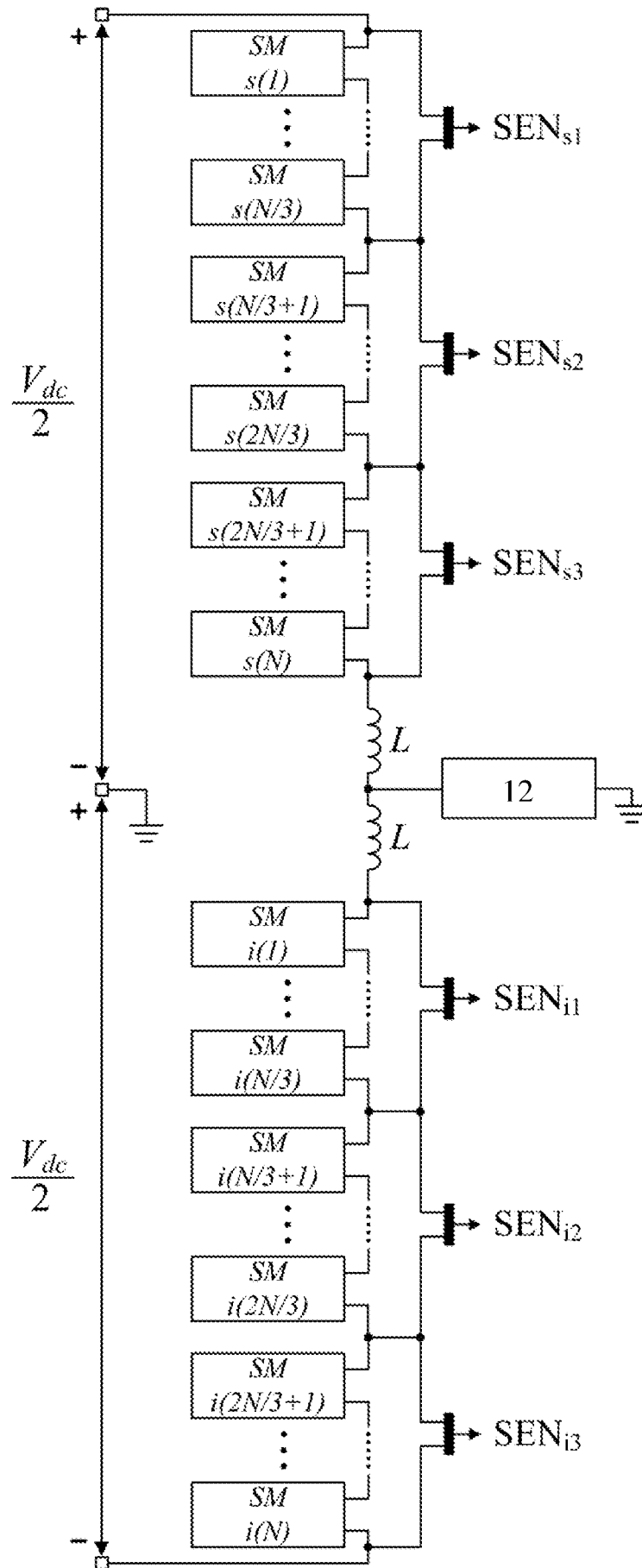


Fig. 10

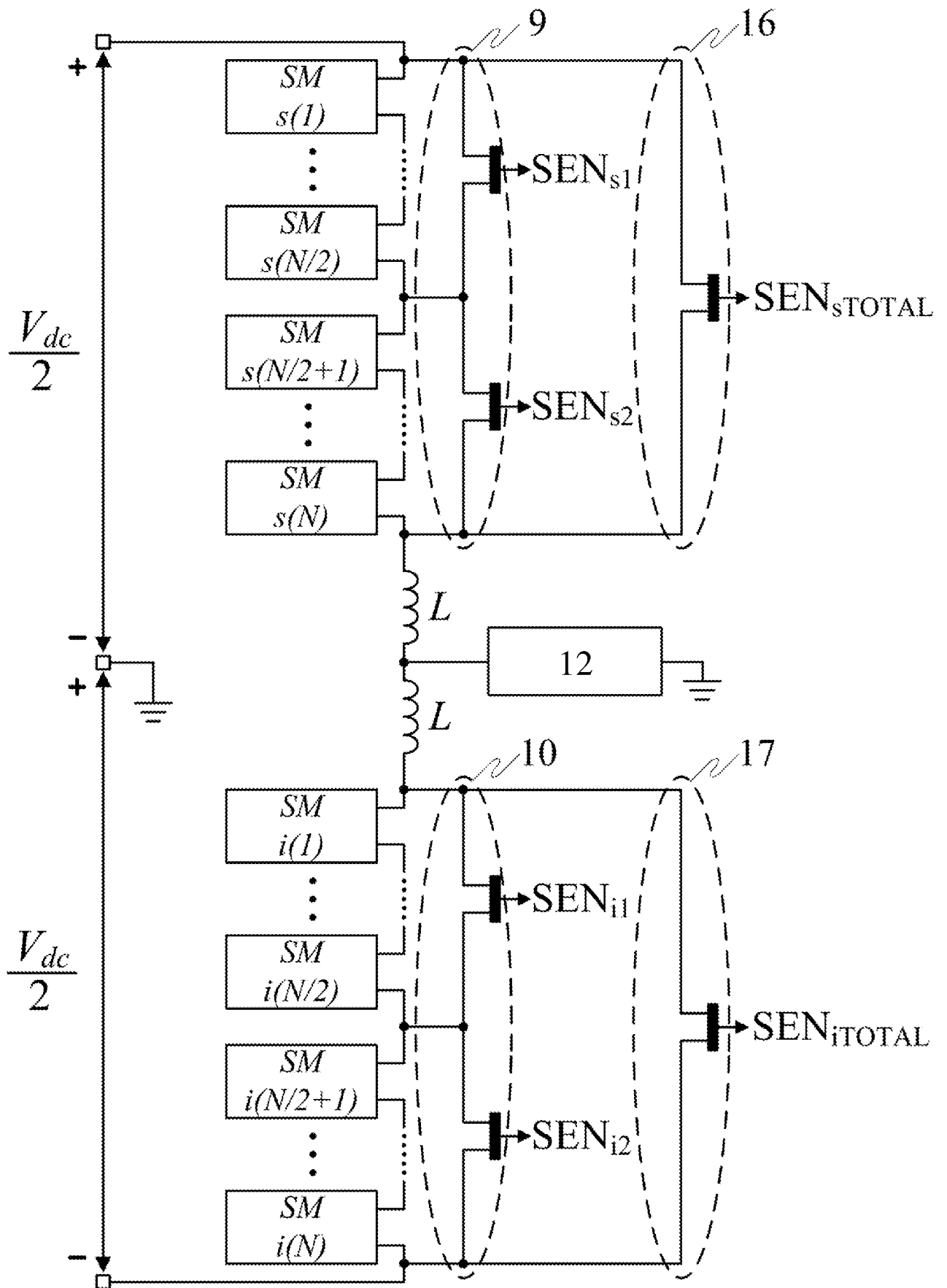


Fig. 11

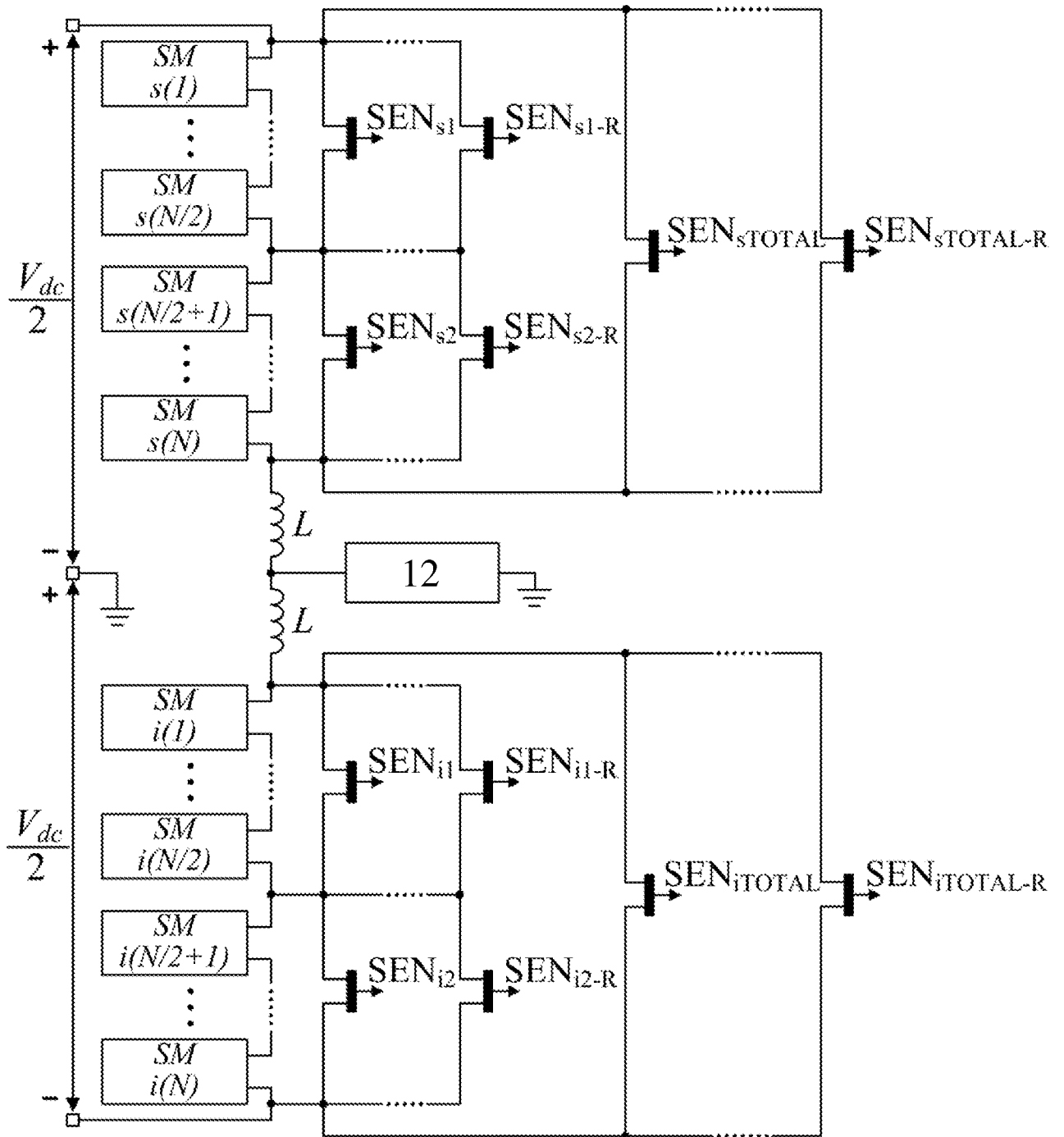


Fig. 12

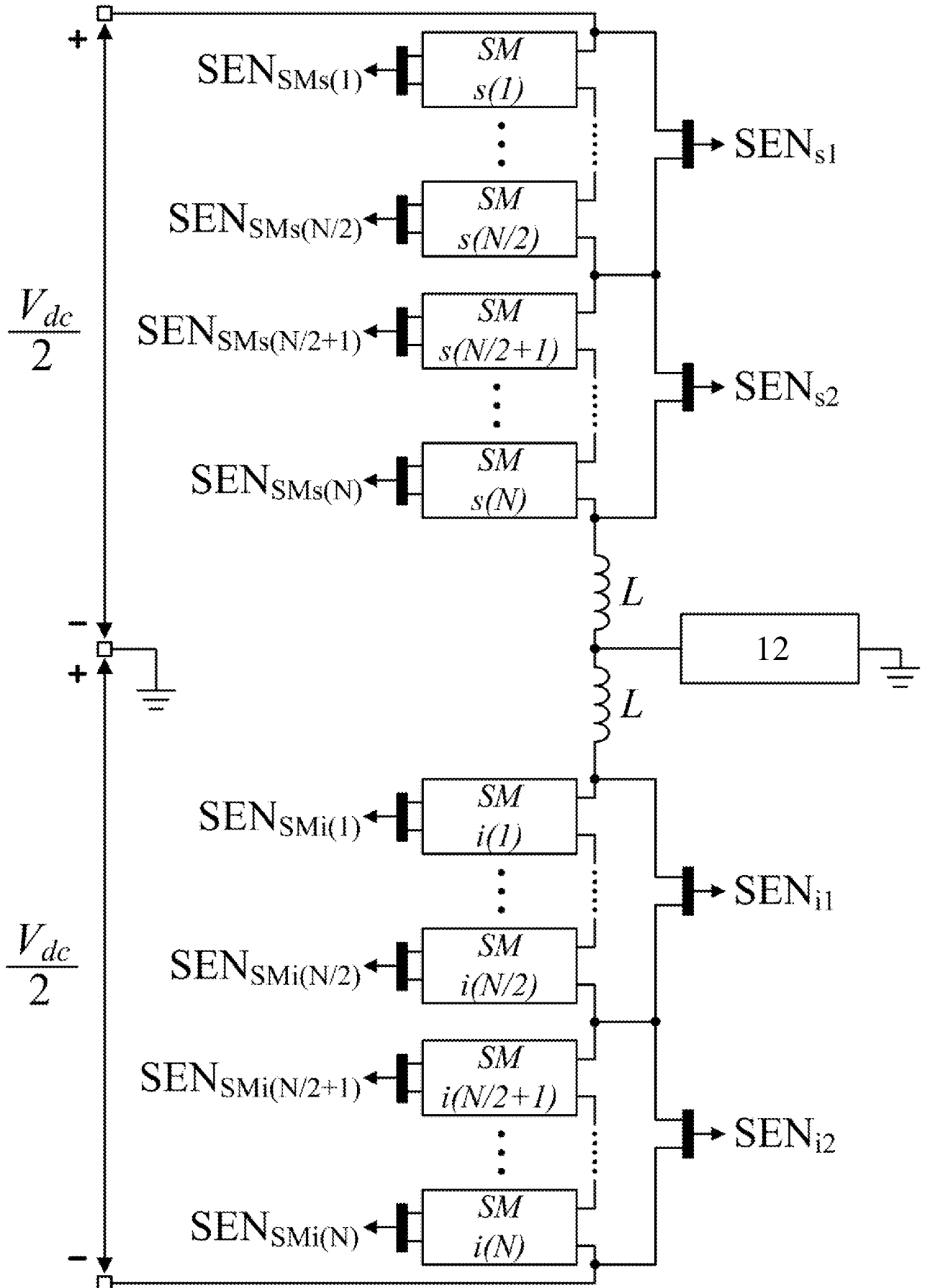


Fig. 13

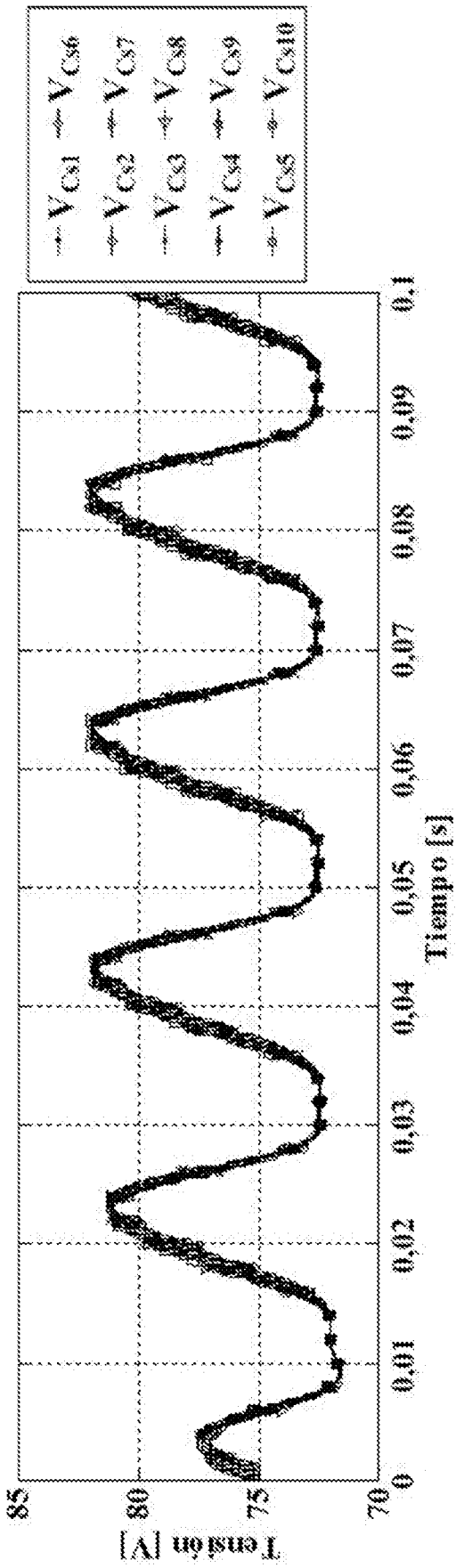


Fig. 14 (a)

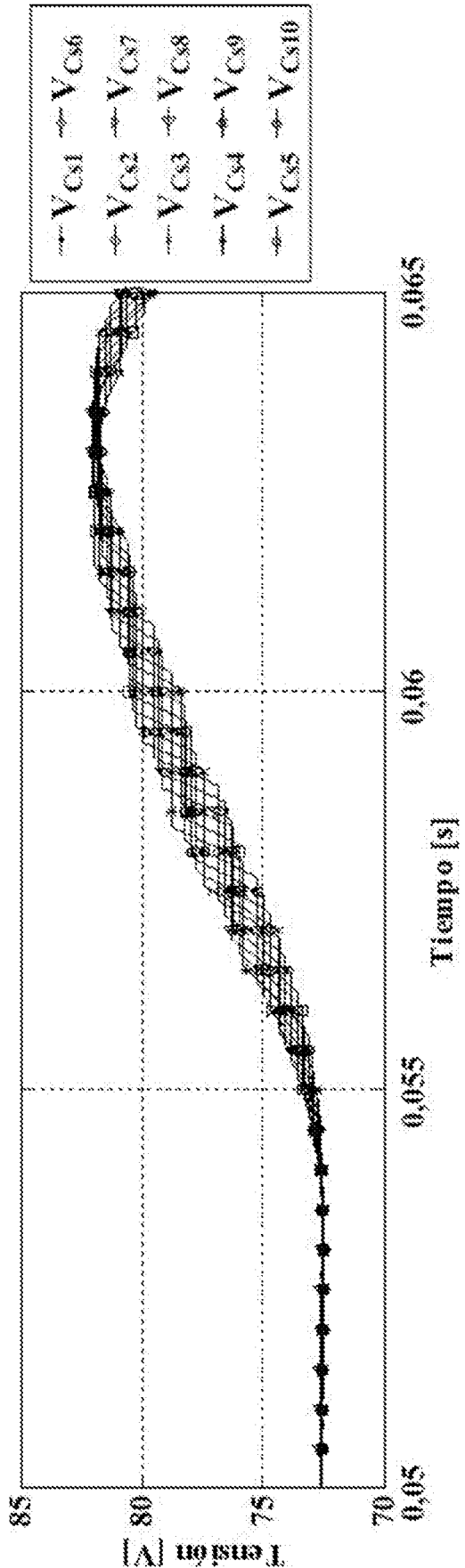


Fig. 14 (b)

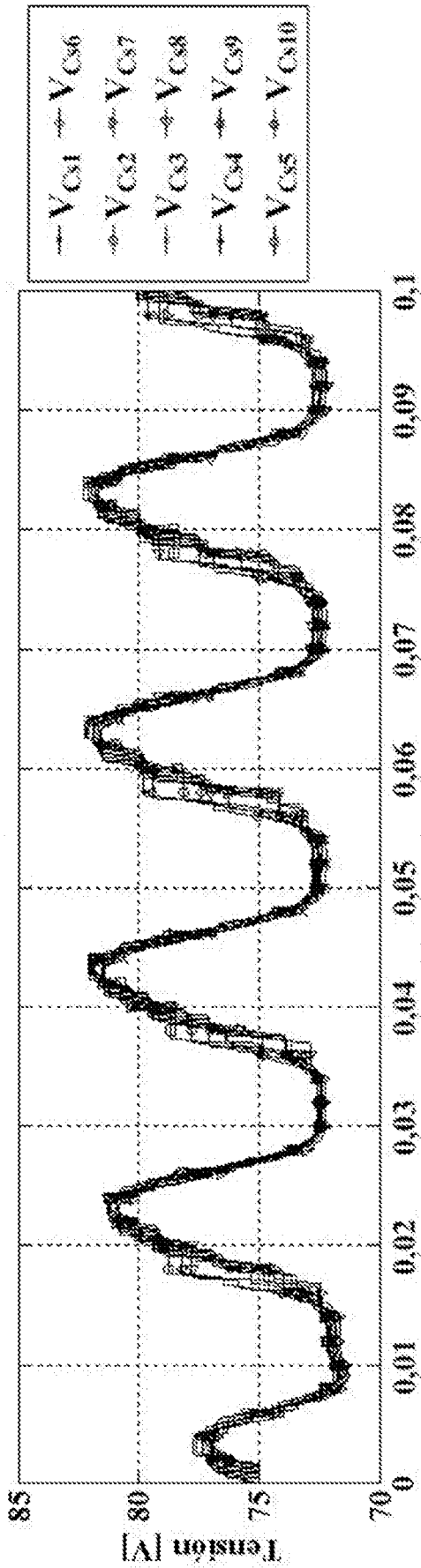


Fig. 14 (c)

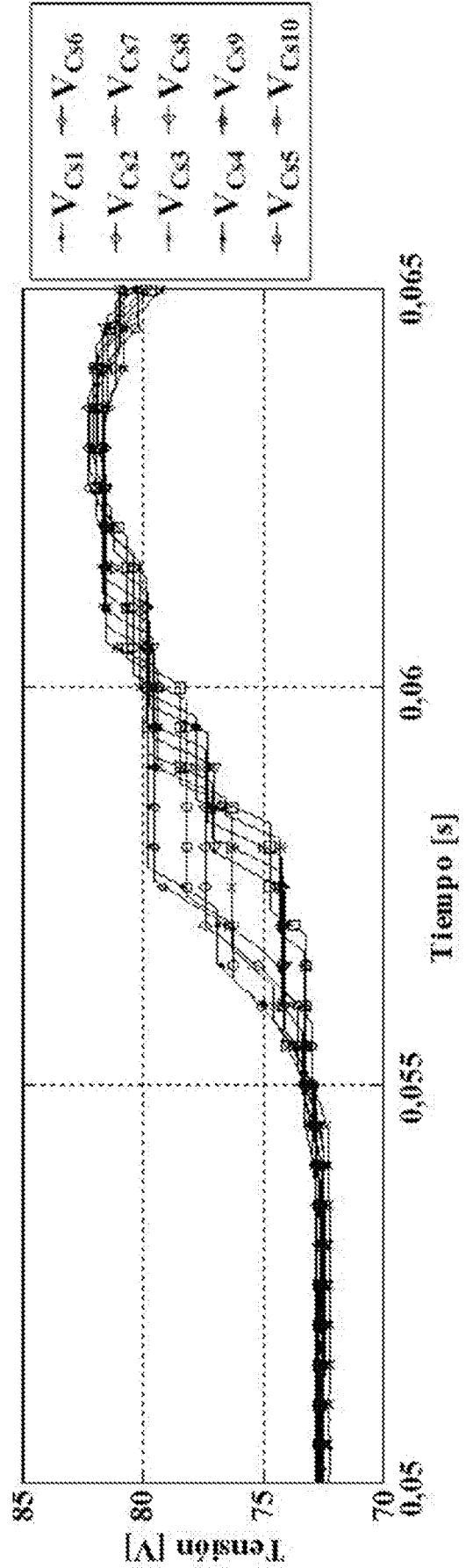


Fig. 14 (d)

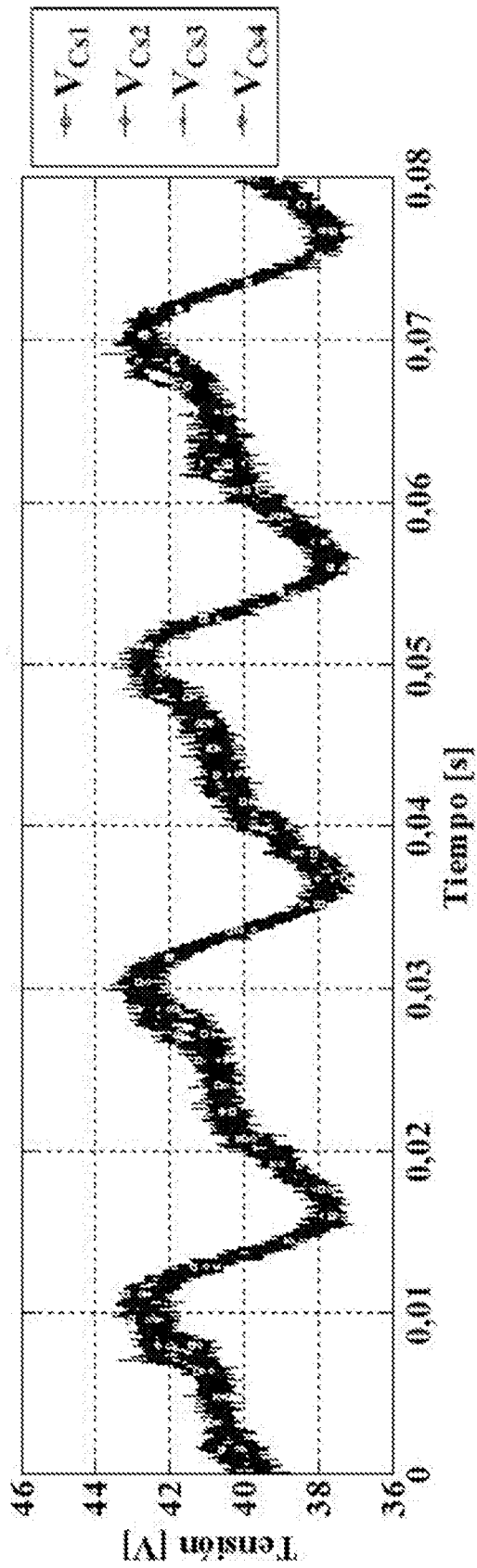


Fig. 15 (a)

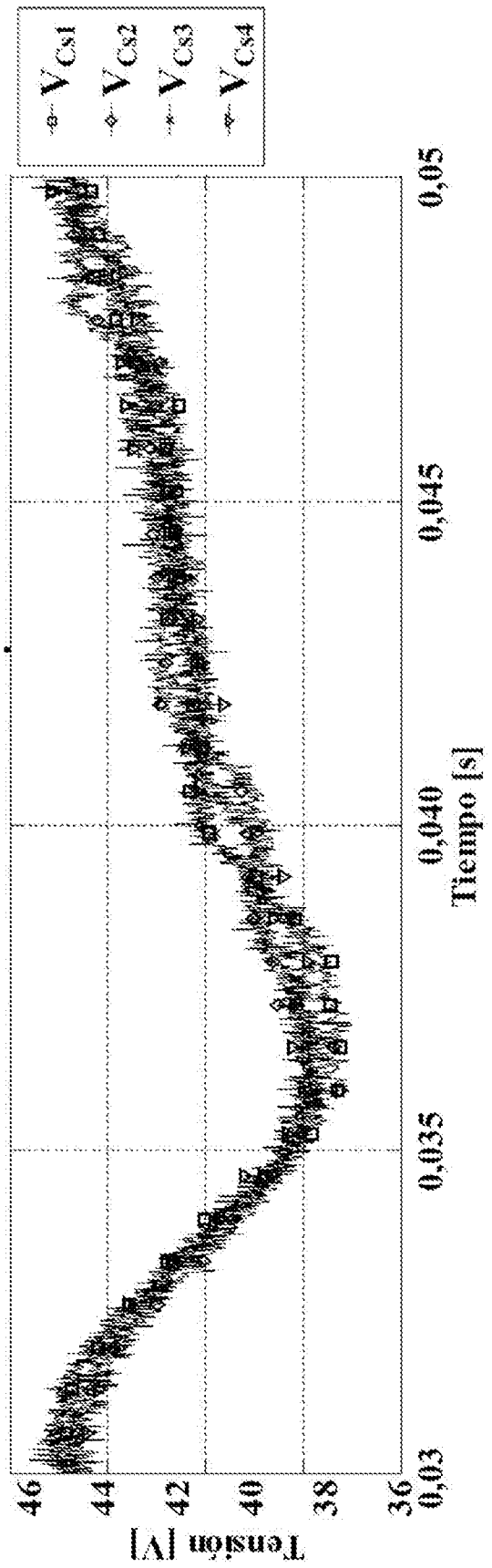


Fig. 15(b)

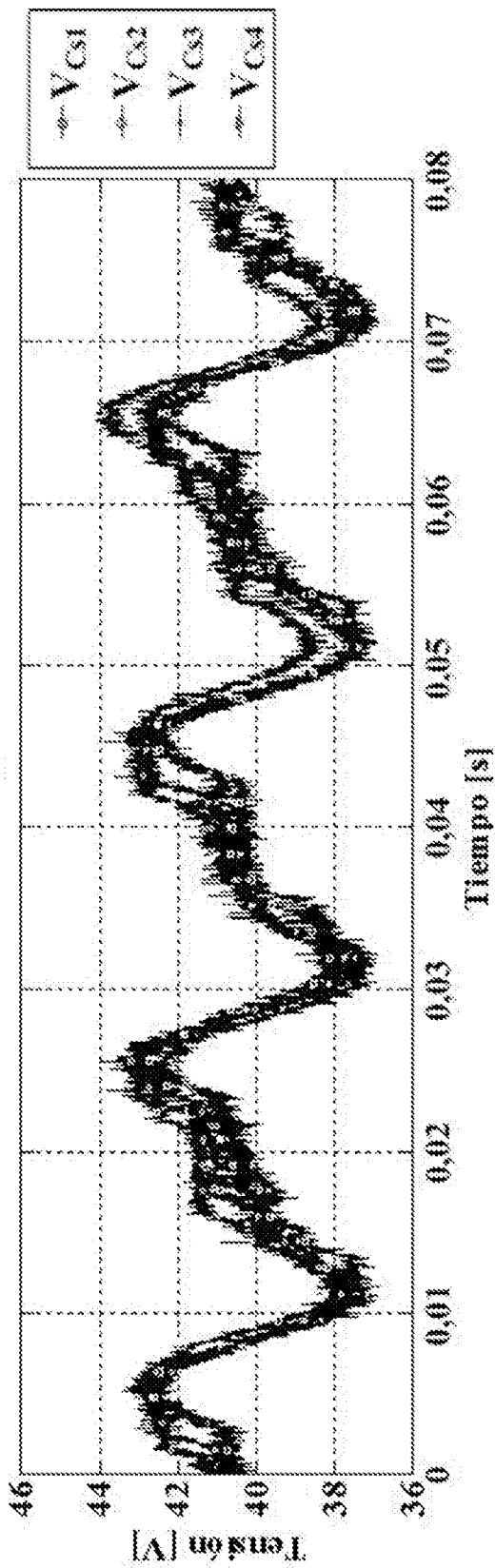


Fig. 15 (c)

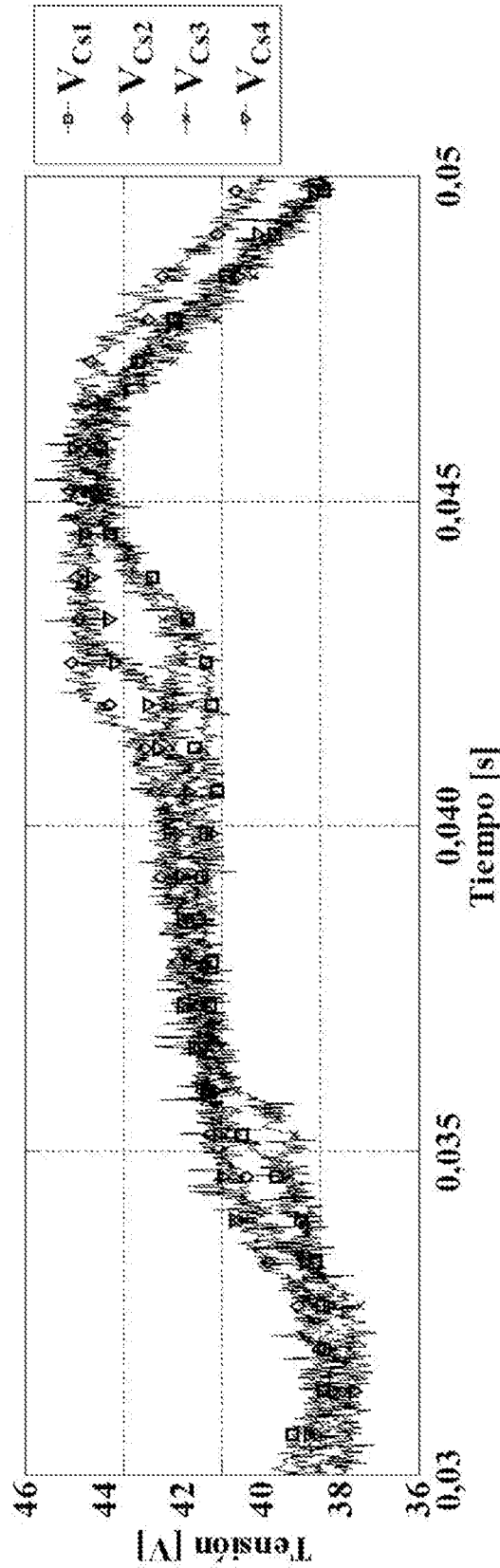


Fig. 15 (d)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2015/070456

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M7/483 (2007.01)

G01R19/00 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M, G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2549634 A1 (HITACHI LTD.) 23.01.2013, paragraphs[0011 - 0030]; paragraphs[0104 - 0119]; figures	1-17
A	WO 2009149743 A1 (ABB TECHNOLOGY AG ET AL.) 17.12.2009, page 10, line 10 - page 15, line 31; figures	1-17
A	WO 2012140008 A2 (SIEMENS AG ET AL.) 18.10.2012, page 14, line 1 - page 27, line 19; figures	1-17
A	WO 2007023064 A1 (SIEMENS AG ET AL.) 01.03.2007, abstract, figures	1-17

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search
11/08/2015

Date of mailing of the international search report
(17/08/2015)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer
A. Navarro Farell

Telephone No. 91 3495394

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2015/070456

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP2549634 A1	23.01.2013	CN102771038 A CN102771038B B JP2011193615 A JP5378274B B2 WO2011114816 A1	07.11.2012 01.07.2015 29.09.2011 25.12.2013 22.09.2011

WO2009149743 A1	17.12.2009	CN102084586 A CN102084586B B US2011096580 A1 US8422257 B2 KR20110006721 A KR101183507B B1 CA2727112 A1 EP2289163 A1 EP2289163 B1	01.06.2011 25.12.2013 28.04.2011 16.04.2013 20.01.2011 20.09.2012 17.12.2009 02.03.2011 04.09.2013

WO2012140008 A2	18.10.2012	US2014146586 A1 EP2678932 A2	29.05.2014 01.01.2014

WO2007023064 A1	01.03.2007	JP2009506736 A CN101253664 A US2008232145 A1 NO20081262 A EP1917706 A1 EP1917706 B1 DE102005040543 A1 CA2620100 A1	12.02.2009 27.08.2008 25.09.2008 10.03.2008 07.05.2008 17.07.2013 01.03.2007 01.03.2007 -----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2015/070456

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H02M7/483 (2007.01)

G01R19/00 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

H02M, G01R

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	EP 2549634 A1 (HITACHI LTD.) 23.01.2013, párrafos[0011 - 0030]; párrafos[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

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
11/08/2015

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
17 de agosto de 2015 (17/08/2015)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
A. Navarro Farell
Nº de teléfono 91 3495394

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2015/070456

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
EP2549634 A1	23.01.2013	CN102771038 A CN102771038B B JP2011193615 A JP5378274B B2 WO2011114816 A1	07.11.2012 01.07.2015 29.09.2011 25.12.2013 22.09.2011
-----	-----	-----	-----
WO2009149743 A1	17.12.2009	CN102084586 A CN102084586B B US2011096580 A1 US8422257 B2 KR20110006721 A KR101183507B B1 CA2727112 A1 EP2289163 A1 EP2289163 B1	01.06.2011 25.12.2013 28.04.2011 16.04.2013 20.01.2011 20.09.2012 17.12.2009 02.03.2011 04.09.2013
-----	-----	-----	-----
WO2012140008 A2	18.10.2012	US2014146586 A1 EP2678932 A2	29.05.2014 01.01.2014
-----	-----	-----	-----
WO2007023064 A1	01.03.2007	JP2009506736 A CN101253664 A US2008232145 A1 NO20081262 A EP1917706 A1 EP1917706 B1 DE102005040543 A1 CA2620100 A1	12.02.2009 27.08.2008 25.09.2008 10.03.2008 07.05.2008 17.07.2013 01.03.2007 01.03.2007 -----
-----	-----	-----	-----