

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 301**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/487** (2007.01)

**H02M 1/12** (2006.01)

**H02M 1/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2011** **E 11382359 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017** **EP 2597763**

54 Título: **Método para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato convertidor de energía, y aparato convertidor de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.09.2017**

73 Titular/es:

**INGETEA POWER TECHNOLOGY, S.A. (100.0%)**  
**Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 106, 2a planta**  
**48170 Zamudio (Bizkaia), ES**

72 Inventor/es:

**SÁNCHEZ RUIZ, ALAIN;**  
**ABAD BIAIN, GONZALO y**  
**ÁLVAREZ HIDALGO, SILVERIO**

74 Agente/Representante:

**IGARTUA IRIZAR, Ismael**

ES 2 633 301 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCION**

“Método para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato convertidor de energía, y aparato convertidor de energía”

5

**SECTOR DE LA TÉCNICA**

La presente invención se relaciona con métodos para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de los aparatos convertidores de energía que están adaptados para transformar una energía de tensión continua en energía de tensión alterna, y con aparatos convertidores de energía.

10

**ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA**

15

Los aparatos convertidores de energía que están adaptados para transformar una energía de tensión continua en energía de tensión alterna comprenden al menos un convertidor encargado de realizar dicha conversión. La calidad de la onda de tensión de salida aumenta con el número de niveles que comprenda la misma, aunque un mayor número de niveles implica un aumento en la complejidad de implementación del convertidor, de forma que generalmente las aplicaciones industriales están habitualmente basadas en aparatos con convertidores de dos o tres niveles, aunque actualmente se está aumentando el número de niveles.

20

El convertidor comprende una pluralidad de interruptores que se abren o se cierran de una manera controlada para poder proporcionar de manera selectiva los diferentes niveles de tensión en la onda de tensión de salida. Para obtener una onda de tensión se pueden emplear diferentes patrones de conmutación de los interruptores, que proporcionan un valor medio de tensión igual en todos los casos pero que proporcionan los niveles de tensión de una manera diferente, tal y como se muestra por ejemplo en el documento EP 2312739 A1.

25

Para los convertidores de tres niveles en particular, por ejemplo, el aparato comprende dos condensadores en serie en el lado de continua de tal manera que a partir de una tensión continua se obtienen tres niveles de tensión: nivel intermedio o potencial cero en un punto medio de unión de ambos condensadores, nivel o potencial positivo perteneciente a la tensión en un condensador con respecto al punto medio, y nivel o potencial negativo correspondiente al valor de la tensión del otro condensador con respecto al punto medio. El número de niveles de la onda de tensión de salida por rama de un convertidor depende generalmente del número de condensadores dispuestos en serie en el lado de continua, comprendiendo el aparato más de un punto medio cuando se quieren obtener más niveles de tensión que tres en la onda de tensión de salida en este caso, puesto que dicho aparato comprende más de dos condensadores unidos en serie en el lado de continua y el punto de unión entre cada dos condensadores se corresponde con un punto medio.

30

35

Es conveniente que la tensión total del lado de continua esté repartida por igual entre los diferentes condensadores existentes para obtener una modulación correcta, obteniendo una onda de tensión de salida del convertidor de buena calidad; pero en los convertidores multinivel las tensiones de los condensadores del lado de continua pueden desequilibrarse debido a la diferencia de corriente hacia los diferentes condensadores. Un desequilibrio en estas tensiones puede provocar distorsión armónica adicional en las ondas de tensión alterna de salida del convertidor y, por consiguiente, empeora la calidad de las mismas. Además, el desequilibrio puede provocar que se supere la tensión máxima de trabajo de los interruptores del convertidor (o de alguno de ellos), lo cual puede conllevar la destrucción de dichos interruptores.

40

45

Se conocen del estado de la técnica diferentes alternativas para controlar la tensión en el punto medio. En el documento US 7573732 B2 se divulga un aparato convertidor de energía en el que se equilibra la tensión en el lado de continua entre los diferentes condensadores. El aparato comprende dos condensadores unidos en un punto medio, y para equilibrar las tensiones se emplea al menos un elemento adicional para absorber o consumir la energía generada en exceso en el punto medio. Dicho elemento, que puede ser por ejemplo una resistencia, absorbe o consume la corriente en exceso que va hacia uno de los condensadores, de tal manera que permite mantener equilibradas las tensiones de ambos condensadores.

50

55

En el documento US 5627742 A se divulga un aparato convertidor de energía con un convertidor de tres niveles para convertir una tensión continua de los condensadores del lado de continua en al menos una onda de tensión alterna por fase, que comprende dos condensadores en el lado de continua unidos en un punto medio, y en el que se equilibran las tensiones en los condensadores sin emplear elementos adicionales. En el aparato divulgado en este documento, para lograr el equilibrio se actúa sobre un patrón de conmutación empleado sobre los interruptores del convertidor, teniendo en cuenta la situación inicial de las tensiones en los condensadores y la polaridad de la corriente de salida correspondiente, correspondiéndose la corriente de salida en cada caso con la corriente de la fase correspondiente que genera el convertidor. Como resultado se desplaza al menos uno de los flancos mediante los cuales se cambia de nivel en la onda de tensión de salida del convertidor.

60

65

El documento de sesión de K. Imarazene, H. Chekireb, E. M. Berkouk titulado “*Selective Harmonics Elimination PWM with Self-Balancing DC-link Capacitors in Five-Level Inverter*” (Conferencia Internacional sobre energías Renovables y Calidad de potencia (ICREPQ'11), 15 Abril 2011 (15.04.2011), Las Palmas de Gran Canaria) divulga un método para controlar la tensión desequilibrada en el lado de continua de un convertidor de potencia y un convertidor de potencia que comprende una pluralidad de condensadores dispuestos en serie en el lado de continua del convertidor.

#### EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es proporcionar un método para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato convertidor de energía según se describe en las reivindicaciones.

El método de la invención está diseñado para controlar la tensión en el lado de continua de un aparato convertidor de energía que comprende al menos un convertidor de puentes en H y una pluralidad de condensadores dispuestos en serie en el lado de continua. La unión de cada dos condensadores se corresponde con un punto medio

El método comprende una etapa de conversión en la que se convierte una tensión continua suministrada por los condensadores en al menos una onda de tensión alterna multinivel por rama del convertidor mediante una modulación determinada, obteniéndose una onda de tensión de salida al combinarse las ondas de tensión de dos ramas, y una etapa de control en la que se actúa sobre el sentido de una corriente en al menos un punto medio para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua del aparato y que se ejecuta durante la etapa de conversión. Así, el desequilibrio se controla actuando sobre el punto medio (o los puntos medios).

En la etapa de conversión el método realiza la conversión mediante una modulación de cancelación selectiva de armónicos o SHE con la que se aplican una pluralidad de vectores por cada onda de tensión de salida, comprendiendo algunos de dichos vectores al menos un vector redundante asociado que afectan al mismo punto medio provocando una corriente en dicho punto medio en sentido opuesto al que provoca su vector asociado y que generan el mismo nivel de tensión de salida en la onda de tensión correspondiente. En la etapa de control se selecciona el vector a aplicar, entre un vector y su vector redundante asociado, para controlar el desequilibrio de la tensión en el punto medio actuando sobre el sentido de la corriente en el punto medio.

De esta manera con el método de la invención se controla el desequilibrio de la tensión en el lado de continua sin que ello afecte a la onda de salida puesto que, aunque se actúe sobre al menos un punto medio en el lado de continua, no se modifica el nivel de dicha onda de tensión del lado de alterna. Así, el control sobre el desequilibrio del lado de continua y la forma de la onda de tensión aplicada por el convertidor en el lado de alterna (o en la salida) son independientes, pudiéndose controlar el desequilibrio a la misma vez que se mantiene la calidad de la onda de tensión de salida del convertidor.

Otro objeto de la invención es proporcionar un aparato convertidor de energía según se describe en las reivindicaciones. Las ventajas obtenidas con el aparato son análogas a las obtenidas con el método.

Estas y otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a la vista de las figuras y de la descripción detallada de la invención.

#### DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIG. 1 muestra una realización de un convertidor de puentes en H de un aparato convertidor de energía según la invención, con dos condensadores en serie en el lado de continua.

La FIG. 2 muestra una realización de un convertidor de puentes en H en cascada de un aparato convertidor de energía según la invención.

La FIG. 3 muestra una topología NPC del convertidor de la FIG. 1.

La FIG. 4 muestra una realización de un aparato según la invención, que comprende un convertidor de energía trifásico.

La FIG. 5 muestra una topología NPC del convertidor de la FIG. 4.

La FIG. 6 muestra una onda de tensión de tres niveles de salida de una rama de tres niveles de un puente en H de un convertidor de un aparato según cualquiera de las figuras 1 a 2.

La FIG. 7 muestra una onda de tensión de salida compuesta entre ramas de tres niveles de un puente en H de un convertidor de un aparato según la invención, con cinco niveles de salida.

## EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5 Un aspecto de la invención se refiere a un método para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato convertidor de energía que comprende una pluralidad de condensadores dispuestos en serie en el lado de continua, y al menos un convertidor 1 de puentes en H multinivel. Cada punto de unión entre cada dos condensadores se corresponde con un punto medio O, de tal manera que se tienen tantos puntos medios O como condensadores dispuestos en serie hay menos uno. El método no está limitado a emplearse en los aparatos 100 en función de su aplicación, por lo que los condensadores del lado de continua del aparato 100 deberán estar aislados galvánicamente con respecto a los buses de continua del resto de puentes en H (si los hubiera), pudiendo por ejemplo estar alimentados por fuentes aisladas galvánicamente entre sí, sin que esto afecte al método propuesto.

15 Es conveniente que la tensión total del lado de continua esté repartida por igual entre los diferentes condensadores existentes para obtener una modulación correcta, obteniendo una onda de tensión de salida del convertidor de buena calidad, pero en los convertidores multinivel las tensiones de los condensadores del lado de continua pueden desequilibrarse debido a la diferencia de corriente hacia los diferentes condensadores. Un desequilibrio en estas tensiones puede provocar distorsión armónica adicional en las ondas de tensión alterna de salida del convertidor y, por consiguiente, empeora la calidad de las mismas. Además, el desequilibrio puede provocar que se supere la tensión máxima de trabajo de los interruptores del convertidor (o de alguno de ellos), lo cual puede conllevar la destrucción de dichos interruptores. Con el método de la invención se pretende controlar este desequilibrio.

20 A modo de ejemplo, en la figura 1 se representa un aparato 100 con un convertidor 1 con un único puente en H y dos ramas 11 y 12, en la figura 2 se representa un aparato 100 con un convertidor 1 con una pluralidad de puentes en H en cascada y dos ramas 11 y 12, y en la figura 4 se representa un aparato 100 trifásico que comprende una convertidor 1 por fase, pudiendo comprender dicho convertidor 1 un único puente en H o una pluralidad de puentes en H en cascada. En las figuras 1, 2 y 4 se ha representado un aparato 100 con dos condensadores C1 y C2 dispuestos en serie en el lado de continua, comprendiendo por lo tanto un único punto medio O, aunque esta representación se ha realizado a modo de ejemplo y un aparato 100 pudiera tener un número diferente de condensadores dispuestos en serie y por lo tanto un número diferente de puntos medios O. Además, aunque por claridad se han empleado las mismas referencias para todos los convertidores 1 y condensadores C1 y C2 representados, todos ellos son independientes entre sí, es decir, cada uno es un elemento distinto del anterior.

25 El método comprende una etapa de conversión en la que se convierte una tensión continua DC suministrada por los condensadores en al menos una onda de tensión 4 alterna multinivel por rama 11 y 12 del puente en H multinivel mostrada a modo de ejemplo en la figura 6, donde se muestra la evolución de una tensión  $V_{1O}$  de una rama 11 con respecto al punto medio O, mediante una modulación determinada. En los ejemplos de las figuras 1 y 2 por ejemplo, al comprender dos condensadores C1 y C2 en serie la onda de tensión 4 de cada rama 11 y 12 comprende tres niveles de tensión como ya es conocido en el estado de la técnica, comprendiendo una onda de tensión 5 de salida entre las dos ramas 11 y 12 cinco niveles de tensión tal y como se muestra a modo de ejemplo en la figura 7, donde se muestra la evolución de una tensión  $V_H$ . En el ejemplo de la figura 4 ocurre lo mismo que en el de las figuras 1 y 2, dando como salidas las ondas de tensión alterna representativas de las tres fases A, B y C del aparato 100 trifásico. Si el aparato 100 comprendiese cuatro condensadores en el lado de continua, la onda de tensión 4 correspondiente a cada rama 11 y 12 comprendería cinco niveles de tensión, y así sucesivamente. En general, la onda de tensión 4 de una rama 11 y 12 comprende tantos niveles de tensión como condensadores comprende el aparato 100 en el lado de continua más uno, y la onda de tensión 5 de salida comprende tantos niveles de tensión como dos veces el número de niveles de una onda de tensión 4 de una rama 11 y 12 menos uno.

35 Un convertidor 1 de puentes en H comprende dos ramas 11 y 12 multinivel, y cada rama 11 y 12 comprende una pluralidad de interruptores controlados tales como IGBTs o IGBTs, por ejemplo, y una pluralidad de diodos, y la onda de tensión 4 alterna resultante en cada rama 11 y 12 del puente en H depende de la secuencia de disparos de dichos interruptores, obteniéndose con la modulación las secuencias de disparos adecuadas para obtener la onda de tensión 4 deseada en cada caso. La topología de las ramas del puente en H a emplearse para un convertidor 1 puede ser cualquier tipo de topología multinivel con punto medio capacitivo conocido que pueda emplearse para un convertidor 1 de puentes en H, como por ejemplo una topología con ramas NPC, NPP o MPC. En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo un convertidor 1 de puentes en H con una topología NPC, y en la figura 5 se muestra a modo de ejemplo un aparato 100 con un convertidor 1 trifásico con una topología NPC.

40 En la etapa de conversión el método realiza la conversión mediante una modulación de cancelación selectiva de armónicos o SHE que se basa en el cálculo de unos ángulos de conmutación predeterminados con los que se genera una forma de onda de tensión 4 por rama 11 y 12, que facilita una onda de tensión 5 libre de un número de armónicos que se pueden eliminar y que se establecen previamente, con la que se aplican una pluralidad de vectores por cada onda de tensión 4 para generar la secuencia adecuada de disparos de los interruptores para cada rama 11 y 12. Para ello se establece un patrón de conmutación deseado para cada onda de tensión 4, que se corresponde con el nivel de tensión de salida deseado para la onda de tensión 5, teniendo cada patrón de conmutación al menos una secuencia de vectores asociado, que depende del número de ángulos establecido y de

los valores de los ángulos calculados. El modo en el que se obtienen los ángulos no se detalla puesto que ya es conocido y no es el objeto de la invención.

Para una onda de tensión 5 de salida de cinco niveles obtenida a partir de dos ondas de tensión 4 de rama 11 y 12 de tres niveles, en algunos instantes se puede conseguir el mismo nivel en la onda de tensión 5 de salida aplicando diferentes vectores. Estos vectores son conocidos como vectores redundantes, y en este caso actúan sobre un mismo punto medio O (el único en este caso) con una corriente  $I_m$  en el punto medio O de sentidos opuestos sin que ello afecte al nivel de tensión de salida de la onda de tensión 5 correspondiente. En la figura 7 se representa con una X el instante o intervalo de tiempo en el que se pueden aplicar los vectores redundantes para una modulación SHE de seis ángulos  $\alpha_1 - \alpha_6$  en un puente en H. Para ondas de tensión 5 de salida de más de cinco niveles, obtenidas a partir de ondas de tensión 4 por rama 11 y 12 de más de tres niveles, el aparato 100 comprende más de dos condensadores en serie y más de un punto medio O en el lado de continua. En este caso, en algunos intervalos de tiempo se tienen una pluralidad de vectores que generan el mismo nivel de tensión en la onda de tensión 5 de salida pero que afectan a diferentes puntos medios O, vectores conocidos como vectores redundantes, pudiendo además haber más de un vector que afecten a un mismo punto medio O con una corriente  $I_m$  en el punto medio O de sentidos opuestos. De esta manera, para ondas de tensión 4 de más de tres niveles por rama 11 y 12 hay instantes o intervalos de tiempo en el que puede seleccionar un vector a aplicar entre dos o más opciones sin que ello afecte al nivel de tensión de las ondas de tensión 5 de salida, para controlar la tensión en el punto medio O deseado (o en el único punto medio O si las ondas de tensión 4 son de tres niveles) y evitar así un desequilibrio entre las tensiones de los condensadores del lado de continua del aparato 100 o para disminuir o eliminar un desequilibrio presente en dichas tensiones.

El método comprende una etapa de control en la que se controla el desequilibrio de la tensión en el lado de continua y que se ejecuta durante la etapa de conversión. Para ello, en dicha etapa de control se selecciona el vector a aplicar en un intervalo de tiempo X en el que se pueden aplicar diferentes vectores para obtener el mismo nivel de tensión de salida en la onda de tensión 4 correspondiente, es decir, selecciona el vector redundante a aplicar, actuándose sobre al menos un punto medio O con una corriente  $I_m$  en uno u otro sentido en función del vector redundante aplicado. De esta manera, gracias al control sobre el sentido de la corriente  $I_m$  se pueden aplicar cargas o descargas de los condensadores adecuados para reducir o eliminar el desequilibrio o para impedir que se genere un desequilibrio. En el caso de ondas de tensión 4 por rama 11 y 12 de más de tres niveles en la etapa de control se selecciona además sobre qué punto medio O se quiere actuar, de tal manera que se selecciona un vector que afecte directamente a dicho punto medio O y con una corriente  $I_m$  en el sentido deseado si fuese posible. En el ejemplo de la figura 4 cada convertidor 1 comprende una pluralidad de condensadores asociados, en este caso dos, y con el método se controla el desequilibrio en cada uno de los condensadores de cada convertidor 1. Lo mismo ocurre en el ejemplo de la figura 2 donde el convertidor 1 comprende una pluralidad de puentes en H, estando una pluralidad de condensadores (en este caso dos) asociados a cada puente en H.

El control del desequilibrio sobre la tensión del punto medio O se realiza para evitar un desequilibrio entre las tensiones de los diferentes condensadores presentes en el lado de continua del aparato 100, de tal manera que se evita que se supere la tensión máxima de trabajo de los interruptores del convertidor 1 correspondiente (o de alguno de ellos) y además se evita o disminuye una posible distorsión armónica adicional en las ondas de tensión 4 y 5 alterna debido a dicho desequilibrio. En definitiva, con el control del desequilibrio de tensión en el lado de continua se pretende evitar que ocurra un desequilibrio, y si éste llega a ocurrir se pretende su eliminación o disminución. Como desequilibrio de la tensión en el punto medio O ha de entenderse la diferencia entre las tensiones de los condensadores que están unidos en serie mediante dicho punto medio O. Para ello se actúa sobre el sentido de la corriente  $I_m$  del punto medio O por medio de la aplicación de vectores redundantes, de tal manera que se consigue una distribución requerida de cargas entre los condensadores que comparten el punto medio O sobre cuya corriente  $I_m$  se actúa. Así se consiguen equilibrar las tensiones de los condensadores sin que se distorsionen las ondas de tensión 5 de salida resultantes de la conversión y por lo tanto se eliminan los armónicos que se desean eliminar en las ondas de tensión 5 de salida con la modulación SHE empleada, de manera que la regulación del desequilibrio de tensión en el lado de continua (equilibrio de las tensiones de los condensadores del lado de continua) y la forma de la onda de tensión 5 de salida alterna aplicada por el convertidor 1 son independientes lo que implica un control más riguroso de las características que se quieren controlar.

Para seleccionar qué vector aplicar, el método comprende además una etapa de cálculo que puede comprender diferentes realizaciones y que se ejecuta durante la etapa de conversión. En una primera realización de la etapa de cálculo, a partir del desfase entre la tensión de la onda de tensión 5 de salida y la corriente de salida del convertidor 1 correspondiente o la corriente por rama 11, 12 de dicho convertidor 1, o del factor de potencia correspondiente, se predice instantáneamente el comportamiento del desequilibrio de la tensión en el punto medio O o de la corriente  $I_m$  en dicho punto medio O (o en los diferentes puntos medios O), y con la tensión de los condensadores del lado de continua del aparato 100 se predice hacia donde hay que corregir el desequilibrio o hacia donde hay que corregir para evitar un aumento del mismo. En la etapa de control la selección del vector a aplicar se realiza teniendo en cuenta dichas predicciones.

En una segunda realización de la etapa de cálculo, el método comprende una etapa previa en la que se predicen en base a ángulos pre-calculados unos valores representativos del comportamiento del desequilibrio de la tensión o de

la corriente  $I_m$  en el punto medio O (o en los diferentes puntos medios O) en función de diferentes valores posibles del desfase entre la onda de tensión 5 de salida y la corriente de salida del convertidor 1 correspondiente o la corriente por rama 11, 12 de dicho convertidor 1, o de valores posibles del factor de potencia correspondiente. Con diferentes combinaciones de los valores comentados se pre-calculan diferentes comportamientos del desequilibrio de la tensión o de la corriente  $I_m$  en el punto medio O, y en una etapa de almacenamiento de datos se almacenan los diferentes valores posibles comentados, junto con unos comportamientos de la tensión en el punto medio O asociados, por ejemplo, en una tabla del tipo "look-up-table". El pre-cálculo y la etapa de almacenamiento se llevan a cabo antes de ejecutarse la modulación, por lo que pueden realizarse en fábrica, por ejemplo. En la segunda realización de la etapa de cálculo se predice el comportamiento del desequilibrio de la tensión o de la corriente  $I_m$  en el punto medio O (o en los diferentes puntos medios O) comparando el valor del desfase entre la onda de tensión 5 de salida y la corriente de salida del convertidor 1 correspondiente o la corriente por rama 11, 12 de dicho convertidor 1, o del factor de potencia, con los valores correspondientes almacenados, y se predice el comportamiento del desequilibrio de la tensión o de la corriente  $I_m$  en el punto medio O seleccionándose el valor pre-calculado del comportamiento que está asociado a la combinación almacenada más cercana a la lectura de los valores reales. En la etapa de control la selección del vector a aplicar se realiza teniendo en cuenta dicha predicción.

Para obtener una onda de tensión 5 de salida determinada se pueden emplear diferentes patrones de conmutación de los interruptores asociados a cada rama 11 y 12, que proporcionan un valor medio de tensión igual en todos los casos pero que proporcionan los niveles de tensión deseados de una manera diferente. Tal y como se ha comentado anteriormente, los posibles vectores a aplicar dependen del patrón de conmutación a aplicar, por lo que, en la etapa de cálculo, para cualquiera de sus realizaciones, la predicción del desequilibrio se realiza teniendo en cuenta los posibles patrones de conmutación a aplicar. Los posibles patrones a aplicar, junto con los vectores asociados a cada patrón de conmutación, se almacenan previamente, en fábrica, por ejemplo. En la etapa de control se selecciona el patrón de conmutación a seleccionar teniendo en cuenta las predicciones realizadas en la etapa de cálculo para los diferentes patrones de conmutación posibles, y conocido el patrón de conmutación a aplicar, se selecciona una secuencia de vectores a aplicar asociada a dicho patrón, realizándose la selección oportuna entre los vectores redundantes tal y como se ha comentado anteriormente. En la etapa de control se selecciona el patrón de conmutación considerado más apropiado dependiendo de la dirección de la corriente  $I_m$  media deseada en el punto medio O, y del patrón de conmutación aplicado anteriormente.

La etapa de conversión se está ejecutando continuamente, y las etapas de cálculo y control se ejecutan simultáneamente a la etapa de conversión y de manera cíclica, ejecutándose la etapa de control con posterioridad a la etapa de cálculo. Preferentemente las etapas de cálculo y control se aplican cada  $\pi/2$  radianes de la onda de tensión 4 ó 5, pero pueden aplicarse con otra periodicidad como  $\pi$  radianes,  $2\pi$  radianes o n veces  $\pi/2$  radianes, por ejemplo, siendo n un número entero positivo. Por claridad, en el resto del documento a dichos intervalos se les denomina ciclos de control C. Además, la duración de los ciclos de control C no tiene por qué fijarse antes de ejecutarse la modulación, si no que se puede variar tantas veces como se quiera durante el funcionamiento de la misma, e incluso cada ciclo de control C puede tener una duración determinada. En un ciclo de control C se ejecutan las etapas de cálculo y de control referentes al ciclo de control C posterior, determinándose en un ciclo de control C el patrón de conmutación y los vectores a aplicar el siguiente ciclo de control C. En un ciclo de control C se puede determinar además la duración del siguiente ciclo de control C.

En una realización preferente del método, las secuencias de vectores asociadas a cada posible patrón de conmutación se predefinen de tal manera que un vector y su vector redundante asociado se aplican de manera alternada dentro de una misma secuencia de vectores, por lo que en función del orden de aplicación de cada vector y su vector redundante y de la corriente de convertidor 1 (del factor de potencia), el valor medio de corriente  $I_m$  en un punto medio O puede tener un sentido u otro. Por lo tanto, en la etapa de control se evalúa cómo se ha de actuar sobre el mismo punto medio O generando un valor medio de la corriente  $I_m$  en dicho punto medio O en un sentido u otro, para seleccionar el orden de los vectores a aplicar, seleccionándose así la secuencia de vectores a aplicar correspondiente al patrón de conmutación seleccionado.

Así, en la realización preferente y para el caso de ondas de tensión 4 de tres niveles, al aplicarse los vectores redundantes de manera alternada y al aplicarse una secuencia de vectores asociada a un patrón de conmutación seleccionado para cada ciclo de control C, basta con seleccionar el vector a aplicar en el primer instante o intervalo de tiempo X de cada ciclo de control C donde es posible realizar una selección entre diferentes vectores para seleccionar la secuencia de vectores completa a aplicar. Así, el sentido del valor medio de la corriente  $I_m$  en el punto medio O en un ciclo de control C se varía modificando el orden de aplicación de los vectores redundantes de una secuencia de vectores aplicados en un patrón de conmutación establecido a aplicar en dicho ciclo de control C, como consecuencia de seleccionar el primer vector redundante.

La toma de decisión de la aplicación de un orden de vectores redundantes u otro en un ciclo de control C, es decir, del sentido del valor medio de la corriente  $I_m$  en el punto medio O en un ciclo de control C, se puede hacer teniendo en cuenta además un umbral de histéresis para la diferencia de tensiones entre los diferentes condensadores del lado de continua del aparato 100 (un umbral de histéresis para fijar un desequilibrio máximo). En este caso, entonces, se compara dicho umbral de histéresis con la diferencia de tensiones de los condensadores, que se puede medir. Si el valor absoluto de la diferencia de tensiones es mayor que el umbral de histéresis predeterminado, para

el ciclo de control C se establece otro orden de vectores en la secuencia de vectores a aplicar, es decir, se cambia el orden de la alternancia. Así, en este caso, en un ciclo de control C se aplica una secuencia de vectores seleccionada, y en el siguiente ciclo de control C se seleccionaría otra secuencia de vectores que provoque el efecto contrario en el punto medio O. Es evidente que la secuencia de vectores no tiene por qué cambiarse en cada ciclo de control, la secuencia se cambia para aquellos ciclos de control C que así lo requieran en función de si se sobrepasa o no el valor de umbral de la histéresis, o si hay un cambio de índice de modulación, por ejemplo. El umbral de histéresis puede corresponderse además con un valor fijo, o puede ser variable variando en función del índice de modulación, de la frecuencia de la onda de tensión compuesta 5 y de la corriente de la carga a la que está conectado el convertidor 1. Empleando una histéresis variable se introduce un grado de libertad adicional que se puede utilizar por ejemplo para optimizar el rizado de tensión en los condensadores de bus, su influencia en la tensión compuesta 5, etc. de.

El método propuesto, además de garantizar el control del equilibrado del punto medio O, proporciona ciertas características adicionales que permiten o pueden permitir minimizar el rizado sobre la tensión de los condensadores del lado de continua del aparato 100 y distribuir las pérdidas de potencia de manera equitativa entre las diferentes ramas del convertidor 1 correspondiente, de tal manera que se pueden optimizar las prestaciones del convertidor 1.

Otro aspecto de la invención se refiere a un aparato 100 convertidor de energía que comprende una pluralidad de condensadores dispuestos en serie en el lado de continua, al menos un convertidor 1 electrónico de potencia de puentes en H para convertir la tensión continua DC suministrada por los condensadores en al menos una onda de tensión 4 alterna multinivel por rama 11 y 12 mediante una modulación determinada, y unos medios de control adaptados para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato 100. El convertidor 1 está adaptado para realizar la conversión mediante una modulación de cancelación selectiva de armónicos o SHE, con la que se aplican una pluralidad de vectores por cada onda de tensión 4 de rama 11 y 12.

El aparato 100 de la invención está adaptado para llevar a cabo el método comentado anteriormente, por lo que las explicaciones realizadas para el método sirven también para explicar el funcionamiento del aparato 100, así como las explicaciones referentes al propio aparato 100, al convertidor 1 o cualquier otro elemento que comprenda el aparato 100. Los medios de control del aparato 100 están adaptados para llevar a cabo algunas etapas del método como son la etapa de conversión, la etapa de control, y la etapa de cálculo. Los medios de control se pueden corresponder con un microcontrolador, un microprocesador, una FPGA o un dispositivo equivalente capaz de realizar dichas etapas. El aparato 100 comprende también unos medios de detección (no representados en las figuras) para determinar la tensión de cada condensador del lado de continua, y de la corriente de salida del convertidor 1 correspondiente, pudiendo comprender unos medios de detección para realizar todas las detecciones o unos medios de detección para cada una de ellas. Los medios de detección a emplear (sensores, etc.) pueden ser medios de detección convencionales.

El aparato 100 puede comprender además una memoria (no representado en las figuras) para el almacenamiento de datos al que se ha hecho referencia en la explicación referente al método. Como se ha comentado en el método, no todas las realizaciones requieren del almacenaje de unos valores por lo que en algunos casos no es necesario que el aparato comprenda una memoria. En el caso de comprender una memoria, dicha memoria puede ser un elemento independiente o puede estar integrado en los medios de control, por ejemplo.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato convertidor de energía que comprende al menos un convertidor (1) de puentes en H con dos ramas (11, 12) y una pluralidad de condensadores (C1, C2) dispuestos en serie en el lado de continua, correspondiéndose cada punto de unión entre cada dos condensadores (C1, C2) con un punto medio (O), comprendiendo el método una etapa de conversión en la que se convierte una tensión continua suministrada por los condensadores (C1, C2) en al menos una onda de tensión (4) alterna multinivel por rama (11, 12) mediante una modulación determinada, obteniéndose una onda de tensión (5) de salida al combinarse las ondas de tensión (4) de dos ramas (11, 12), y una etapa de control en la que se controla el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato (100) y que se ejecuta durante la etapa de conversión, en la etapa de conversión el método realiza la conversión mediante una modulación de cancelación selectiva de armónicos o SHE con la que se aplican una pluralidad de vectores por cada onda de tensión (5) de salida, pudiendo aplicarse diferentes vectores en un mismo intervalo de tiempo (X) para obtener el mismo nivel de tensión de salida en la onda de tensión (5) correspondiente, y, en la etapa de control, se selecciona el vector a aplicar en un intervalo de tiempo (X) en el que se pueden aplicar diferentes vectores para obtener el mismo nivel de tensión de salida en la onda de tensión (5) correspondiente, actuándose sobre al menos un punto medio (O) con una corriente ( $I_m$ ) en uno u otro sentido en función del vector aplicado, **caracterizado porque** la selección entre dos vectores redundantes que actúan sobre un mismo punto medio (O) con una misma corriente ( $I_m$ ) pero en sentidos opuestos se realiza de manera alternada, de tal manera que si en una primera selección se selecciona un vector que implica una corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) en un sentido entre los vectores redundantes posibles a seleccionar, la siguiente vez que se pueda realizar la misma selección se selecciona un vector que implique una corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) en el sentido opuesto.
- 25 2. Método según la reivindicación 1, en donde en la etapa de control se selecciona además el patrón de conmutación a aplicar para cada onda de tensión (4), para obtener la onda de tensión (5) de salida deseada, teniéndose también en cuenta esta selección para seleccionarse el vector a aplicar.
- 30 3. Método según la reivindicaciones 1 o 2, que comprende antes de la etapa de control y ejecutándose durante la etapa de conversión, una etapa de cálculo en la que se predice el comportamiento del desequilibrio de la tensión o de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) sobre el que se va a actuar, en función del valor del desfase entre la tensión de la onda de tensión (4; 5) de salida y la corriente de salida del convertidor (1) o la corriente por rama (11, 12) de dicho convertidor (1), o del factor de potencia correspondiente, y se predice el valor medio de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) y hacia donde se genera dicho valor medio, afectando al desequilibrio de la tensión de los condensadores (C1, C2) correspondientes del lado de continua del aparato (100), seleccionándose en la etapa de control el vector redundante a aplicar teniendo en cuenta dichas predicciones.
- 35 4. Método según las reivindicaciones 1 o 2, que comprende antes de la etapa de control y ejecutándose durante la etapa de conversión, una etapa de cálculo en la que se predicen unos valores representativos del comportamiento del desequilibrio de la tensión o de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) sobre el que se va a actuar en base a valores pre-calculados, comprendiendo dichos valores pre-calculados, para diferentes índices de modulación posibles, el desfase entre la tensión de la onda de tensión (4; 5) y la corriente de salida del convertidor (1) correspondiente o la corriente por rama (11, 12) de dicho convertidor (1), o el factor de potencia, y en la que se predice el valor medio de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) y hacia donde se genera dicho valor medio, afectando al desequilibrio de los condensadores (C1,C2) en función de unos valores posibles de tensión de los condensadores (C1, C2) pre-calculados, prediciéndose el comportamiento del desequilibrio de la tensión o de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) sobre el que se va a actuar comparando el valor real del desfase entre la tensión de la onda de tensión (4; 5) y la corriente de salida del convertidor (1) correspondiente o la corriente por rama (11, 12) de dicho convertidor (1), o del factor de potencia, con el dato correspondiente pre-calculado, y prediciéndose el valor medio de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) y hacia donde se genera dicho valor medio, afectando al desequilibrio de los condensadores (C1,C2) comparando la tensión de los condensadores (C1, C2) correspondientes con los datos correspondientes pre-calculados, seleccionándose en la etapa de control el vector redundante a aplicar teniendo en cuenta dichas predicciones.
- 40 45 50 55 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las ondas de tensión (4) de cada rama (11, 12) comprenden más de tres niveles, seleccionándose en la etapa de control el punto medio (O) sobre el que se quiere actuar en función de las tensiones de los condensadores.
- 60 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se predetermina un umbral de histéresis predeterminado para la diferencia de tensiones entre los diferentes condensadores (C1, C2), y se compara dicho umbral de histéresis con la diferencia de tensiones de los condensadores (C1, C2) real, teniéndose en cuenta el resultado de dicha comparación para seleccionar el vector adecuado.
- 65 7. Método según la reivindicación 6, en donde el umbral de histéresis es un valor constante.

8. Método según la reivindicación 6, en donde el umbral de histéresis es un valor variable que depende del índice de modulación, de la frecuencia de la onda de tensión (4; 5) y de una corriente de una carga a la que se conecta el convertidor (1).
- 5 9. Aparato convertidor de energía que comprende una pluralidad de condensadores (C1, C2) dispuestos en serie en el lado de continua, al menos un convertidor (1) electrónico de potencia de puentes en H con dos ramas (11, 12) para convertir la tensión continua (DC) suministrada por los condensadores (C1, C2) en al menos una onda de tensión (4) alterna multinivel por rama (11, 12) mediante una modulación determinada, obteniéndose una  
 10 onda de tensión (5) de salida al combinarse las ondas de tensión (4) de dos ramas (11, 12), y unos medios de control adaptados para controlar el desequilibrio de la tensión en el lado de continua de un aparato (100), estando el convertidor (1) adaptado para realizar la conversión mediante una modulación de cancelación selectiva de armónicos o SHE con la que se aplican una pluralidad de vectores por cada onda de tensión (5) de salida, pudiendo aplicarse diferentes vectores en un mismo intervalo de tiempo (X) para obtener el mismo nivel de tensión de salida en la onda de tensión (5) de salida correspondiente, y porque los medios de control están adaptados para seleccionar el vector a aplicar en un intervalo de tiempo (X) en el que se pueden aplicar diferentes vectores para obtener el mismo nivel de tensión de salida en la onda de tensión (5) correspondiente, actuando sobre al menos un punto medio (O) con una corriente ( $I_m$ ) en uno u otro sentido en función del vector aplicado, **caracterizado porque** los medios de control están adaptados para aplicar los vectores que actúan sobre un mismo punto medio (O) con sentidos opuestos de la corriente ( $I_m$ ) de manera alternada.
- 15 10. Aparato según la reivindicación 9, en donde los medios de control están adaptados para seleccionar además el patrón de conmutación a aplicar para cada onda de tensión (4), para la onda de tensión (5) de salida deseada, y tienen en cuenta esta selección para seleccionar el vector a aplicar.
- 20 11. Aparato según las reivindicación 10, que comprende unos medios de detección para detectar la tensión de cada condensador (C1, C2) y el valor de la corriente de salida del convertidor (1) correspondiente, estando los medios de control adaptados para predecir el comportamiento del desequilibrio de la tensión o de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) en función de los posibles valores de desfase entre la onda de tensión (4; 5) correspondiente y la corriente de salida detectada y, del índice de modulación requerido y de los patrones de conmutación a utilizar, para predecir el valor medio de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) y hacia donde se genera dicho valor medio, afectando al desequilibrio en función de las tensiones de los condensadores (C1, C2) detectadas, y para seleccionar un vector entre los vectores redundantes posibles a aplicar teniendo en cuenta dichas predicciones.
- 25 30 35 12. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde los medios de control están adaptados para comparar un umbral de histéresis predeterminado con la diferencia de tensiones de los condensadores (C1, C2), para predecir el comportamiento de la tensión o de la corriente ( $I_m$ ) en el punto medio (O) en función del resultado de dicha comparación, y para seleccionar el vector adecuado.

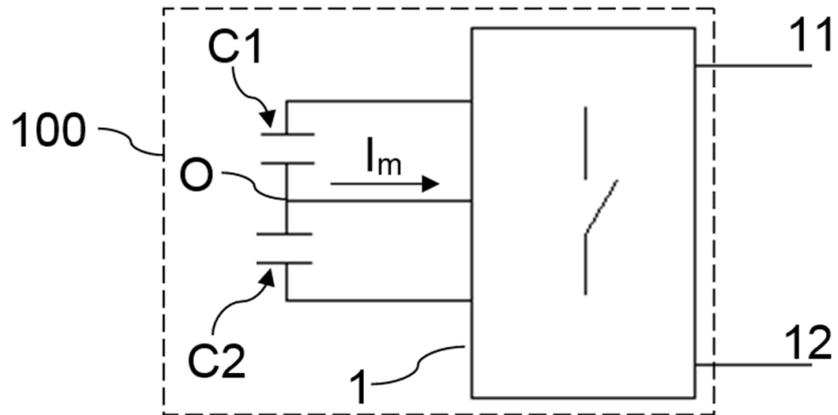


Fig. 1

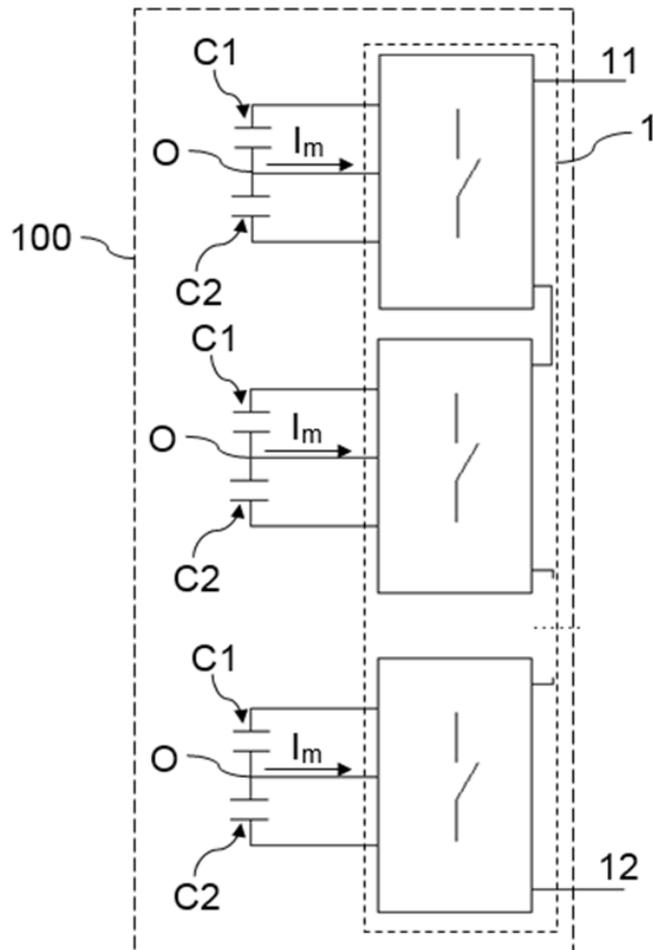


Fig. 2

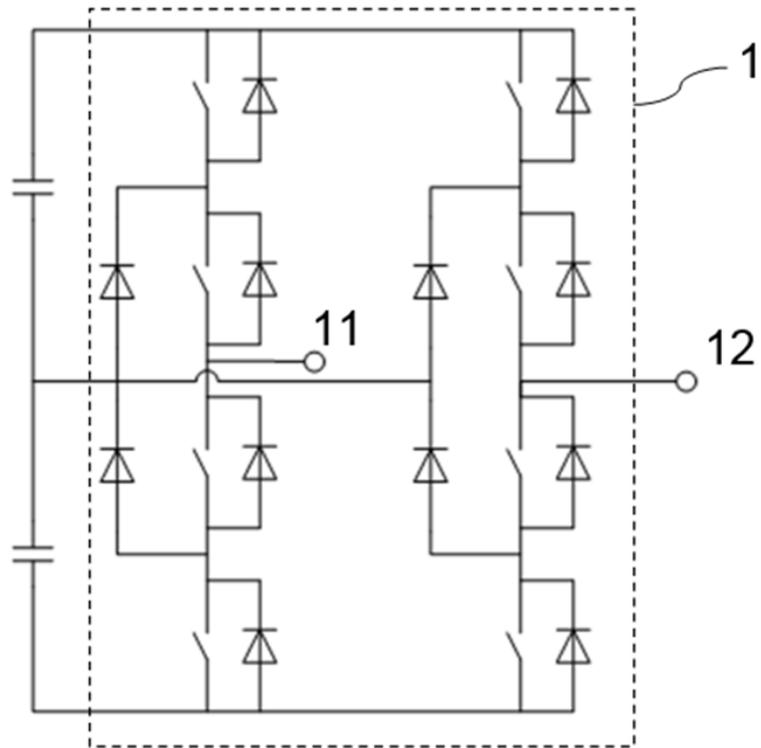


Fig. 3

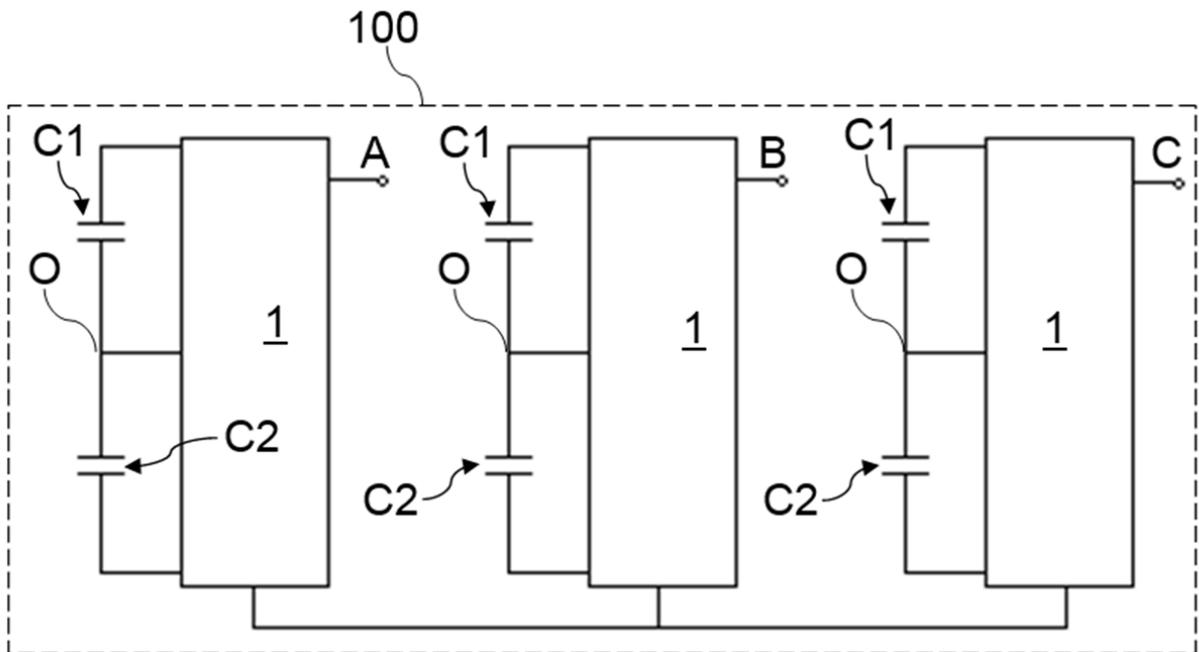


Fig. 4

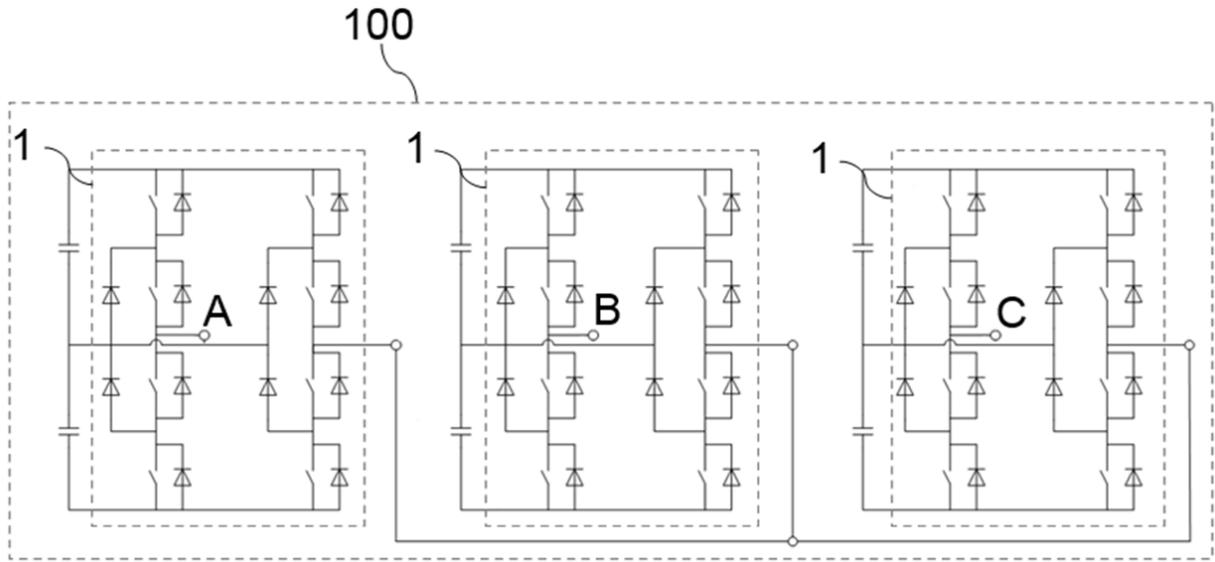


Fig. 5

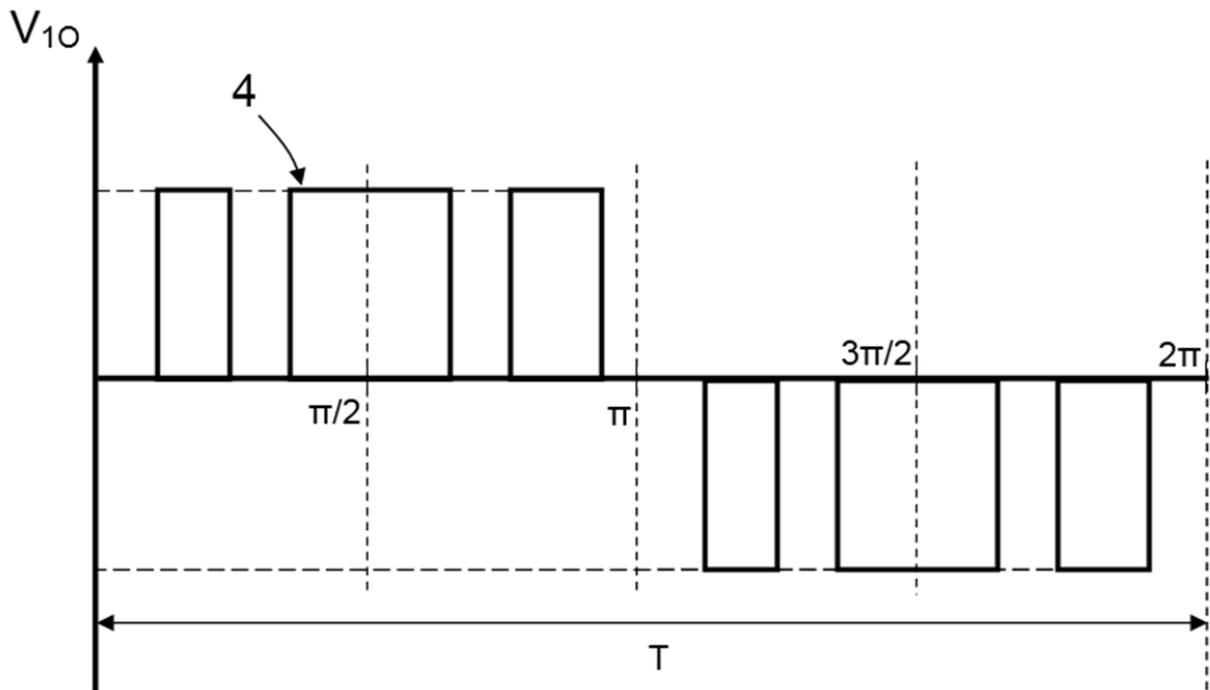


Fig. 6

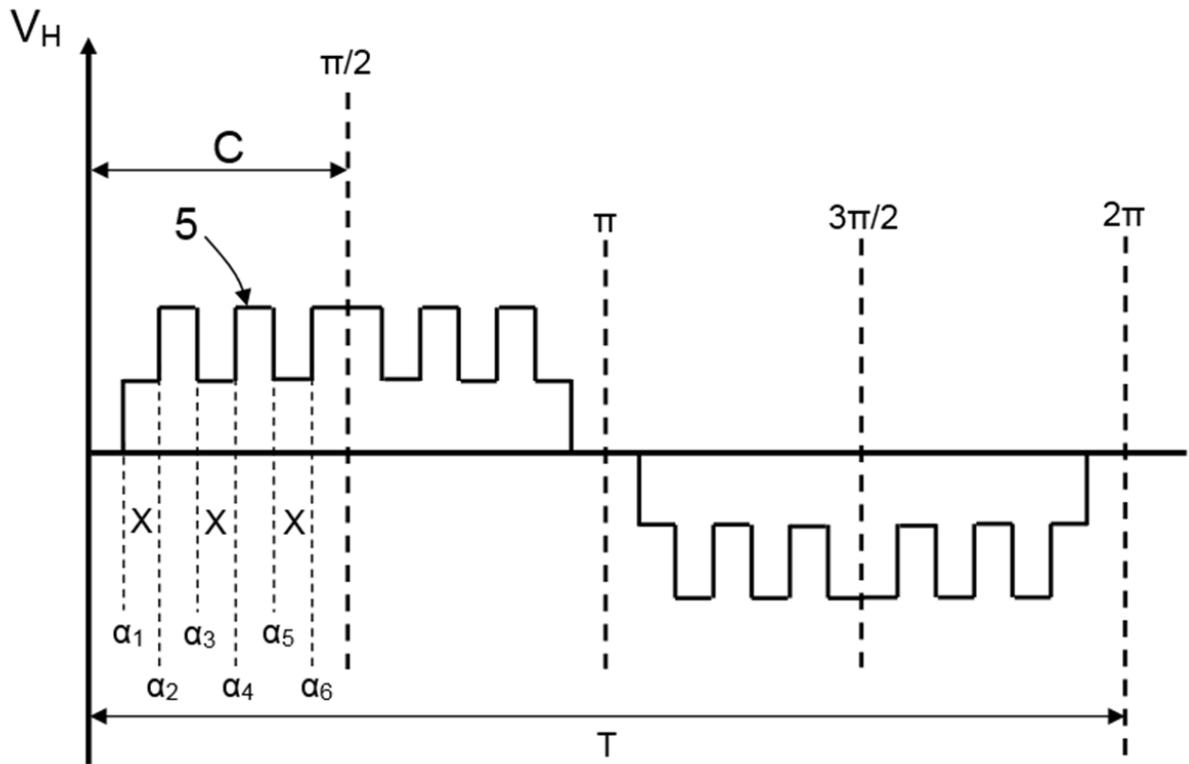


Fig. 7