

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 888 973**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02M 7/493 (2007.01)

H02J 3/46 (2006.01)

H01L 31/02 (2006.01)

H02M 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.07.2017 PCT/ES2017/070483**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.01.2019 WO19008194**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.07.2017 E 17787462 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.09.2021 EP 3651303**

54 Título: **Sistema de conversión de potencia, y método de control asociado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.01.2022

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:

**AGORRETA MALUMBRES, JUAN LUIS;
GONZALEZ SENOSIAIN, ROBERTO;
BALDA BELZUNEGUI, JULIAN y
MIRANDA ORDOBAS, ALVARO**

74 Agente/Representante:

IGARTUA IRIZAR, Ismael

ES 2 888 973 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de conversión de potencia, y método de control asociado

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se relaciona con sistemas de conversión de potencia que comprenden una pluralidad de convertidores conectados en paralelo en el lado de alterna, y con métodos de control asociados.

10

ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

Los convertidores de potencia se emplean en numerosas ocasiones para generar energía eléctrica y para proveer de energía eléctrica alterna a una carga, como puede ser un motor o una red eléctrica, por ejemplo. En algunas ocasiones, principalmente por las altas necesidades de potencia, es necesario conectar una pluralidad de convertidores entre sí para poder dar la energía eléctrica requerida. En algunos casos, además, como por ejemplo en una instalación de generación de energía eléctrica a partir del sol (instalaciones fotovoltaicas), los convertidores reciben corriente continua y la transforman en corriente alterna, siendo dichos convertidores conocidos como inversores.

15

20

Tradicionalmente, en este tipo de instalaciones se ha incluido un transformador de baja frecuencia entre el inversor y la red eléctrica, que proporciona un aislamiento galvánico entre la instalación y la red. Además, este transformador puede utilizarse para elevar la tensión de salida del inversor si fuese necesario.

25

El inversor está constituido por transistores de potencia que conmutan para convertir la corriente continua proporcionada por el generador fotovoltaico, o fuente correspondiente, en corriente alterna que se inyecta a la red eléctrica.

Como se puede apreciar en la figura 1a, donde se representa una instalación fotovoltaica del estado de la técnica anterior (o sistema fotovoltaico), el generador fotovoltaico (representado a modo de un panel P') presenta una capacidad parásita $C_{PV'}$ con respecto a tierra, siendo la capacidad entre tierra y cada uno de los terminales positivo y negativo igual a la mitad de dicha capacidad parásita $C_{PV'}$. La capacidad parásita $C_{PV'}$ es proporcional a la superficie del panel P' correspondiente, y, por tanto, a la potencia del generador fotovoltaico. El panel P' es una fuente de continua y la instalación comprende un inversor I' para transformar la corriente continua proporcionada por la fuente en corriente alterna, comprendiendo dicho inversor I' tres fases R, S y T en el lado de alterna. El inversor I' se conecta a una red G' a través de al menos un elemento, tal como un transformador T', y el transformador T' presenta una capacidad parásita $C_{T'}$ con respecto a tierra. En la figura 1a se representa además la inductancia L' de cada una de las líneas entre el inversor I' y el transformador T' (una línea por fase R, S, T).

30

35

40

El sistema completo de la figura 1a puede reducirse a un equivalente simplificado en modo común como el mostrado en la figura 1b. La tensión de modo común V_{mc} es la media aritmética de la suma de las tensiones entre las salidas R, S y T del lado de alterna del convertidor I', medidas con respecto a un punto de referencia común (en este caso a un punto medio O' del lado de continua del inversor I'), tal y como se indica en la siguiente ecuación:

45

$$V_{mc} = \frac{V_{RO'} + V_{SO'} + V_{TO'}}{3},$$

en donde:

$V_{RO'}$: tensión entre la fase R y el punto medio O'.

$V_{SO'}$: tensión entre la fase S y el punto medio O'.

50

$V_{TO'}$: tensión entre la fase T y el punto medio O'.

V_{mc} : tensión en modo común del inversor I'.

Un cálculo de la tensión en modo común está también explicado, por ejemplo, en el documento "Common Mode Voltage in case of Transformerless PV inverters Connected to the Grid, T. Kerekes et al., 2008 IEEE".

55

Las corrientes parásitas a tierra quedan limitadas por tanto por las impedancias del circuito representado en la figura 1b, siendo la mayor de ellas la que supone la capacidad parásita $C_{T'}$ del transformador T'.

En ocasiones existe el requerimiento de poner a tierra (aterrar) el terminal positivo o el terminal negativo del lado de continua del inversor. Esto es debido, por ejemplo, a exigencias de la normativa (por motivos de seguridad) o porque algunas tecnologías de panel fotovoltaico sufren degradaciones electro-químicas que se evitan si se aterriza uno de dichos terminales. En la figura 1c se muestran dos casos de sistemas aterrados del estado de la técnica anterior, estando en uno de ellos el terminal negativo aterrado (arriba) y en el otro el terminal positivo (abajo). En estos casos se elimina el efecto de la capacidad parásita $C_{PV'}$ del panel P' al existir una unión directa entre uno de los terminales y tierra, y las corrientes parásitas a través de las tierras también vienen limitadas enormemente por la gran impedancia que supone la capacidad parásita $C_{T'}$ del transformador T', tal y como se puede deducir de la figura 1d, donde se muestra el circuito

60

65

equivalente de los dos casos de la figura 1c (a la izquierda en el caso del terminal negativo aterrado, y a la derecha en el caso del terminal positivo aterrado).

5 Generalmente, las instalaciones de gran potencia están formadas por una pluralidad de inversores I' , cada uno de ellos con su transformador T' y su generador fotovoltaico, trabajando en paralelo a la misma red G' , tal y como se muestra en la figura 2a, comprendiendo cada inversor I' , en el lado de continua, un punto medio $O1'$, $O2'$, $O3'$ correspondiente y una tensión continua V_{DC1} , V_{DC2} y V_{DC3} correspondiente. En estas condiciones, el sistema completo puede reducirse a su equivalente simplificado en modo común, mostrado en la figura 2b, donde se representa la tensión en modo común V_{mc1} , V_{mc2} y V_{mc3} asociada a cada uno de los inversores I' . Las figuras 2c y 2d muestran la versión aterrada en el lado de continua de este sistema. En dichas figuras 2c y 2d se aterrera el terminal negativo pero el esquema sería igualmente válido para el aterramiento del terminal positivo (únicamente variaría el signo de la tensión $V_{DC}/2$ representada en dichas figuras).

10 Una solución para reducir los costes de la instalación es sustituir el transformador asociado a cada inversor por un único transformador que comprende un devanado primario para cada inversor y un único secundario que se conecta a la red. En este caso, las corrientes parásitas que se obtienen en el circuito equivalente en modo común son similares a colocar transformadores independientes para cada uno de los inversores, como lo mostrado en las figuras 2a a 2d. Sin embargo, este tipo de transformadores resulta difícil de fabricar y es más costoso, por lo que se mantiene la necesidad de buscar una solución más óptima, por ejemplo, utilizar un único primario para todos los inversores.

15 Esta solución alternativa se muestra de manera simplificada en la figura 3a, donde se utiliza un esquema de conexión aislado de tierra en la parte de los inversores I' . Este tipo de instalaciones mejora las prestaciones de eficiencia y reduce el coste de las mismas, sin embargo, al eliminar los transformadores asociados a cada inversor I' , se presenta un nuevo circuito en modo común, puesto que, para conectarse a un único primario, el lado de alterna de todos los inversores I' se conectan al mismo punto (cada fase de un inversor con su fase correspondiente del resto de los inversores), sin elementos intermedios.

20 En los circuitos representados en las figuras 2b, 2d, 3b, y 3d pueden existir dos tipos de corrientes: las corrientes parásitas a tierra a través de la capacidad parásita C_T' del transformador T' , y las corrientes entre inversores I' . Ambas corrientes vienen limitadas por las impedancias que suponen respectivamente la capacidad C_T' del transformador T' y la capacidad C_{PV}' del panel P' . Dependiendo del circuito cambian principalmente las corrientes entre inversores I' , por ejemplo, en los circuitos de las figuras 3b y 3d se reduce la impedancia de la corriente entre inversores I' ya que no deben atravesar la capacidad parásita del transformador T' .

25 En el estado de la técnica anterior, cuando se desea aterrar los inversores unidos al mismo devanado es preciso conectar en paralelo el lado de continua de los inversores (uniendo los negativos entre sí y los positivos entre sí), tal y como se representa en la figura 3c, y cuyo circuito equivalente se muestra en la figura 3d. Como puede observarse en el circuito equivalente, en este caso las capacidades parásitas C_{PV}' de los paneles P' quedan cortocircuitadas debido al aterramiento. Al estar dichas capacidades parásitas C_{PV}' cortocircuitadas, se reduce la impedancia del camino de corrientes entre inversores (corrientes homopolares) que se pueden controlar como se describe por ejemplo en el artículo "Control of Circulating Current in Two Parallel Three-Phase Boost Rectifiers" de Zhiong Ye, *IEEE Vol. 17, no. 5, September 2002*. En el método descrito en este artículo se implementa un control de corrientes homopolares que se aplica a todos los inversores menos a uno. Se miden las corrientes de cada fase en el lado de alterna de cada uno de los inversores y se suman dichas medidas entre sí, empleándose el resultado de la suma como entrada para un controlador proporcional integral. La salida del controlador proporcional integral se suma al control de corrientes inyectadas en la red, para aplicar el resultado de la suma a la modulación empleada para controlar los inversores.

30 EP2364522A1 describe una planta de energía fotovoltaica que comprende una fuente de tensión de compensación, que controla el potencial de CC en las salidas de CA. El potencial de CC en la entrada de CC se controlará indirectamente y, por lo tanto, es posible garantizar que los potenciales con respecto a tierra en los terminales de los módulos fotovoltaicos sean todos no-negativos o no-positivos sin conectar a tierra los módulos fotovoltaicos. Se pueden evitar los bucles de tierra y no es necesario el uso de inversores basados en transformadores.

35 EP2622702A2 divulga una planta de energía fotovoltaica que comprende uno o más dispositivos fotovoltaicos, comprendiendo cada dispositivo al menos dos terminales en los que uno o más de los terminales está conectado a un interruptor que a su vez está conectado a un punto mantenido a una tensión con respecto a tierra y se controla al menos un interruptor en respuesta a uno o más parámetros, y un método para controlar dicha planta de energía, correspondiéndose esta descripción con el preámbulo de las reivindicaciones independientes de la presente invención.

40 EP2742588A1 divulga un sistema de conversión de energía eléctrica que comprende: al menos un primer inversor y al menos un segundo inversor, cuyas salidas están conectadas en paralelo; al menos una primera fuente de tensión CC conectada a la entrada del primer inversor y una segunda fuente de tensión CC conectada a la entrada del segundo inversor; una conexión a tierra del primer inversor y una conexión a tierra del segundo inversor. La conexión a tierra de dichos inversores comprende un ramal de conexión a tierra con un sensor de corriente que suministra una señal proporcional a una corriente de tierra de fuga medida en dicho ramal de conexión a tierra. A través de la señal proporcional a la corriente de fuga medida, se genera una señal de retroalimentación para controlar la corriente de fuga.

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

5 El objeto de la invención es el de proporcionar un sistema de conversión de potencia que comprende una pluralidad de convertidores conectados en paralelo en el lado de alterna, y un método de control asociado, según se define en las reivindicaciones.

10 El sistema de conversión de potencia comprende una pluralidad de convertidores conectados en paralelo en el lado de alterna, y una fuente de continua acoplada a un lado de continua de cada convertidor. Cada convertidor comprende un lado de alterna para acoplarse a una red eléctrica (directamente o a través de un transformador, por ejemplo), un primer terminal y segundo terminal en el lado de continua y un terminal de alterna por cada fase en el lado de alterna.

15 Todos los terminales de alterna de una misma fase de todos los convertidores están conectados a un punto común de alterna (por fases), preferentemente sin empleo de elementos intermedios tal como un transformador, por ejemplo. Los primeros terminales de los diferentes convertidores del sistema están aterrados, estando así unidos entre sí, y los segundos terminales de dichos convertidores son independientes unos de otros (están sin conectar unos con otros), y están sin aterrarse.

20 De esta manera, al unirse un único terminal del lado de continua de los convertidores entre ellos, cada convertidor puede comprender tensiones continuas diferentes entre sus dos terminales del lado de continua y cada fuente puede funcionar independiente al resto de fuentes, estando, por tanto, las fuentes, en el sistema, adaptadas y configuradas para funcionar independientes unas de otras. Esto supone una gran ventaja con respecto a los sistemas del estado de la técnica anterior, como por ejemplo con respecto a los sistemas que comprenden los terminales positivos de los convertidores unidos entre sí y también los terminales negativos, puesto que en dichos sistemas todas las fuentes de tensión continua quedan asociadas en paralelo y se tiene un único buscador del punto de máxima potencia (MPPT), no garantizando que dichas fuentes puedan operar en su punto óptimo de funcionamiento.

25 Así, en el sistema propuesto se aprovecha la capacidad de cada una de las fuentes de tensión continua (por ejemplo, un panel fotovoltaico), al no depender la tensión continua que puede suministrar a su convertidor de la tensión continua que puedan suministrar el resto de las fuentes.

30 Otra ventaja adicional es que, además, el fallo en alguna de las fuentes, o en alguno de los convertidores asociados a las diferentes fuentes, no implica un fallo del sistema, dada la independencia obtenida en dicho sistema y comentada previamente.

35 Un segundo aspecto se refiere a un método de control para un sistema de conversión de potencia, que comprende una pluralidad de convertidores conectados en paralelo en un lado de alterna y una fuente de continua acoplada a un lado de continua de cada convertidor, y comprendiendo cada convertidor un lado de alterna para acoplarse a una red eléctrica, un primer terminal y segundo terminal en el lado de continua y acoplados a una fuente correspondiente, siendo uno de dichos terminales el terminal positivo y siendo el otro terminal el terminal negativo, y un terminal de alterna por cada fase en el lado de alterna, estando los terminales de alterna del lado de alterna de una misma fase de todos los convertidores conectados a un punto común de alterna, sin empleo de elementos intermedios. El método está configurado para implementarse dinámicamente en un sistema donde los primeros terminales de los diferentes convertidores de dicho sistema están aterrados y donde los segundos terminales de dichos convertidores son independientes unos de otros. El método está también configurado para controlar cada fuente independiente al resto de fuentes, pudiéndose aprovechar la capacidad de cada una de las fuentes. Con el método se obtienen las mismas ventajas comentadas para el primer aspecto.

40 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

55 La figura 1a muestra esquemáticamente una instalación fotovoltaica del estado de la técnica anterior que comprende un transformador para conectarse a una red eléctrica, donde se representan además las capacidades parásitas del panel que comprende dicha instalación y del transformador.

60 La figura 1b muestra un esquema equivalente simplificado en modo común de la instalación fotovoltaica de la figura 1a.

La figura 1c muestra esquemáticamente dos instalaciones fotovoltaicas del estado de la técnica anterior que comprenden un transformador para conectarse a una red eléctrica, una con el terminal negativo del lado de continua del convertidor aterrado (arriba) y la otra con el terminal positivo del lado de continua del convertidor aterrado (abajo).

65 La figura 1d muestra un esquema equivalente simplificado en modo común de las instalaciones fotovoltaicas de la figura 1c (izquierda con el terminal negativo del lado de continua del convertidor aterrado, y derecha con el terminal positivo del lado de continua del convertidor aterrado).

La figura 2a muestra esquemáticamente una instalación fotovoltaica del estado de la técnica anterior, que comprende una pluralidad de convertidores y un transformador con aislamiento galvánico independiente para cada convertidor, y sin aterrarse el lado de continua.

5

La figura 2b muestra un esquema equivalente simplificado en modo común de la instalación fotovoltaica de la figura 2a.

La figura 2c muestra esquemáticamente una instalación fotovoltaica del estado de la técnica anterior, que comprende una pluralidad de convertidores y un transformador con aislamiento galvánico independiente para cada convertidor, estando uno de los terminales del lado de continua de los convertidores aterrado.

10

La figura 2d muestra un esquema equivalente simplificado en modo común de la instalación fotovoltaica de la figura 2c.

La figura 3a muestra esquemáticamente una instalación fotovoltaica del estado de la técnica anterior, que comprende una pluralidad de convertidores, sin aterrarse en el lado CC, y un único transformador para todos los convertidores.

15

La figura 3b muestra un esquema equivalente simplificado en modo común de la instalación fotovoltaica de la figura 3a.

La figura 3c muestra esquemáticamente una instalación fotovoltaica del estado de la técnica anterior, que comprende una pluralidad de convertidores, sin aterrarse en el lado CC, y un único transformador para todos los convertidores, con los terminales positivos del lado de continua de los inversores unidos entre sí y con los terminales negativos del lado de continua de los inversores unidos entre sí.

20

La figura 3d muestra un esquema equivalente simplificado en modo común de la instalación fotovoltaica de la figura 3c.

25

La figura 4a muestra esquemáticamente una realización del sistema de conversión de potencia de la invención, con el terminal positivo de los convertidores aterrado.

La figura 4b muestra el circuito equivalente del sistema de la figura 4a.

30

La figura 4c muestra esquemáticamente una realización del sistema de conversión de potencia de la invención, con el terminal negativo de los convertidores aterrado.

La figura 4d muestra el circuito equivalente del sistema de la figura 4c.

35

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema 100 de conversión de potencia, como el que se muestra a modo de ejemplo en las figuras 4a y 4c, para proveer potencia eléctrica a una carga G como puede ser un motor o una red eléctrica, a partir de una pluralidad de fuentes 200 de continua como pueden ser unos generadores fotovoltaicos.

40

El sistema 100 comprende una pluralidad de convertidores 3 conectados en paralelo en el lado de alterna, para convertir tensión eléctrica continua procedente de las fuentes 200 en tensión eléctrica alterna para la carga G, y cada convertidor 3 comprende un lado de alterna 3A para acoplarse a la carga G (por ejemplo, directamente o a través de un transformador T tal y como se representa en las figuras 4a y 4c) y un lado de continua 3C para acoplarse a una fuente 200 respectiva, como puede ser un generador fotovoltaico en el caso de que el sistema 100 pertenezca a una instalación 1000 fotovoltaica. Cada fuente 200 genera tensión eléctrica continua, y el convertidor 3 correspondiente la convierte en tensión eléctrica alterna para alimentar la carga G. En las realizaciones de las figuras 4a y 4c se muestra un sistema 100 con tres inversores 3, comprendiendo cada uno de ellos una tensión V_{DC1} , V_{DC2} y V_{DC3} continua respectiva y un punto medio O1, O2 y O3 respectivo en su lado de continua 3C, pero un sistema 100 puede comprender tantos inversores 3 como se requiera. En las figuras 4b y 4d se representa respectivamente un circuito equivalente de los sistemas de las figuras 4a y 4c, donde se representa además la capacidad parásita C_T del transformador T, la inductancia L de línea de cada convertidor 3, entre dicho convertidor 3 y el transformador T, la tensión V_{DC1} , V_{DC2} y V_{DC3} y la tensión en modo común V_{mc1} , V_{mc2} y V_{mc3} en cada caso. En las figuras no se ha representado ningún filtro conectado entre el lado de alterna 3A de los inversores 3 y el transformador T, pero podría conectarse uno si así se requiriese (y de la topología requerida: LC, LCL, etc.).

45

50

55

En el lado de continua 3C, cada convertidor 3 comprende un primer terminal 1 y segundo terminal 2, siendo uno de ellos el terminal positivo y el otro el terminal negativo, entre los que comprende la tensión V_{DC1} , V_{DC2} y V_{DC3} continua correspondiente. En el lado de alterna cada inversor 3 comprende un terminal de alterna 9 por cada fase de alterna, tres fases en el caso de un sistema trifásico (como el mostrado en las figuras, y, por tanto, tres terminales de alterna 9, aunque en la figura se ha mostrado el lado de alterna trifásico de modo unifilar y se representa un terminal de alterna 9 en cada caso).

60

65

Los primeros terminales 1 de los diferentes convertidores 3 del sistema 100, que pueden ser los terminales positivos o los terminales negativos, están unidos entre sí y aterrados. En la figura 4a se muestra una realización con los terminales positivos aterrados, y en la figura 4c se muestra una realización con los terminales negativos aterrados. Los segundos

terminales 2 de dichos convertidores 3, sin embargo, se mantienen independientes unos de otros (los terminales negativos en el caso de la figura 4a, y los terminales positivos en el caso de la figura 4c). En las realizaciones mostradas en las figuras, los primeros terminales 1 están unidos a un punto de unión PU, y este punto de unión PU está unido a tierra (preferentemente a través de un interruptor S1, tal y como se muestra en las figuras). En otras realizaciones, cada uno de los primeros terminales 1 está conectado a tierra de manera independiente (a través de un interruptor respectivo, o directamente), estando dichos primeros terminales 1 unidos así a través de la tierra.

Alternativamente, el aterramiento de un primer terminal 1 también puede realizarse al menos a través de una impedancia, por ejemplo, a través de una impedancia resistiva. La impedancia podría estar conectada entre el primer terminal 1 y tierra, y si hubiese un interruptor S1, entre el primer terminal 1 y el interruptor S1 o entre el interruptor S1 y tierra.

Cada convertidor 3 está acoplado o conectado por su lado de continua 3C a una fuente 200, y debido a la independencia entre los segundos terminales 2 (o de los primeros terminales 1) de los diferentes convertidores 3, cada fuente 200 de potencia puede operar de manera independiente al resto de fuentes 200. De esta manera, en el sistema 100 cada fuente 200 está adaptada y configurada para funcionar independiente al resto de fuentes 200, pudiéndose así aprovechar al máximo la potencia de cada fuente 200 cuando se requiere, sin que la limitación de una de ellas (bien por las condiciones climáticas o bien por condiciones de funcionamiento) afecte negativamente al resto (en cuanto a limitar su potencia), tal y como sucede en el estado de la técnica anterior. Por estar configurada y adaptada para operar independientemente hay que interpretar que cada fuente 200 puede prescindir de la tensión continua generada por el resto de las fuentes 200 en cada momento, no teniéndose que limitar la potencia producible por una fuente 200 debido a limitaciones derivadas de otras fuentes 200.

El sistema 100 comprende un dispositivo de control 4 configurado para determinar o calcular el valor de la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 de cada convertidor 3 con respecto al mismo punto de referencia de manera dinámica (y repetidamente). Ese punto de referencia es, preferentemente, un punto común que comparten todos los convertidores 3 como, por ejemplo, el punto aterrado. En una realización preferente del sistema 100 el punto de referencia es el primer terminal 1 en cada caso. El dispositivo de control 4 está configurado, además, de manera dinámica (y repetidamente), para comparar dichos valores determinados, para determinar si son iguales o no, y para igualar dichos valores a un valor predeterminado si determina que no son iguales. El valor predeterminado al que se igualan puede ser uno de los valores de las medias aritméticas determinado por el dispositivo de control 4, por ejemplo, o cualquier otro valor que se considere oportuno en cada caso. Al hacerse iguales dichos valores (las medias aritméticas) se consigue que todos los convertidores 3 sean capaces de convertir las tensiones V_{dc} continuas en alterna.

En los sistemas de más de una fase, como en un sistema trifásico, por ejemplo, en el cálculo de la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 de un convertidor 3 las componentes de alterna de dichas tensiones alternas se anulan entre sí, debido al desfase entre ellas. Sin embargo, no ocurre lo mismo con la componente de continua, de tal manera que la media aritmética refleja realmente la media entre las componentes de continua de dichas tensiones alternas. Sin embargo, en un sistema monofásico las componentes de alterna no se anulan, y para este caso como media aritmética hay que entender que se refiere a la componente de continua de la tensión alterna en el único terminal de alterna 9 del convertidor 3 correspondiente.

El valor de la media aritmética común a todos los convertidores 3 es mayor o igual que la mitad de la tensión V_{DC} continua mínima necesaria a la entrada de los convertidores 3, para que éstos puedan convertir correctamente dicha tensión V_{DC} en tensión alterna (tensión rectificadora V_{dcrec}):

$$V_{dcrec} = \sqrt{2\sqrt{3}} \cdot V_f,$$

en donde V_f es la tensión de fase del lado de alterna 3A.

Es conocido el hecho de que los convertidores 3 necesitan una tensión continua mínima en su lado de continua 3C para poder convertirla en alterna de manera controlada, y cuál es en cada caso (en función de la configuración del convertidor 3 en cuestión), por lo que no se detalla más este aspecto. Con esta limitación inferior de la media aritmética común se asegura que todos los convertidores 3 son capaces de convertir las tensiones V_{DC} continuas en alterna.

En una realización preferente, el sistema 100 comprende al menos un dispositivo de detección, no representado en las figuras, adaptado para medir la tensión continua V_{DC} entre los dos terminales 1 y 2 del lado de continua 3C de cada convertidor 3. El dispositivo de detección puede comprender un sensor para cada medida a realizar, pero caso de tener baterías como fuentes 200, por ejemplo, es posible conocer de antemano dichas tensiones V_{DC} sin necesidad de medirlas, sin necesidad de un dispositivo de detección). El dispositivo de control 4 está comunicado con el dispositivo de detección para recibir dichas medidas, y está configurado para obtener la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 de cada convertidor 3, en función de dichas tensiones continuas V_{DC} medidas y de la tensión en modo común V_{mc} de cada convertidor 3. Las tensiones en modo común V_{mc} correspondientes son generadas por el propio sistema 100, siendo así conocidas. En particular, preferentemente la media aritmética asociada a cada convertidor 3 se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones en cada caso:

- Cuando los primeros terminales 1 aterrados son los terminales positivos (figura 4b):

$$V_{med}(p) = V_{mc} + \frac{V_{DC}}{2},$$

- Cuando los primeros terminales 1 aterrados son los terminales negativos (figura 4d):

$$V_{med}(n) = V_{mc} - \frac{V_{DC}}{2},$$

en donde:

- $V_{med}(p)$: media aritmética asociada a un convertidor 3, con el terminal positivo aterrado.
- $V_{med}(n)$: media aritmética asociada a un convertidor 3, con el terminal negativo aterrado.
- V_{mc} : tensión en modo común de dicho convertidor 3.
- V_{DC} : tensión continua entre los terminales 1 y 2 del lado de continua de dicho convertidor 3.

En la realización preferente, el dispositivo de control 4 está además configurado para, de manera dinámica (y repetidamente), comparar entre sí las tensiones continuas V_{DC} medidas, para determinar cuál de ellas es la menor y para igualar la media aritmética a partir de las tensiones continua V_{DC} medidas, tomando como referencia la media aritmética asociada al convertidor 3 cuya tensión continua V_{DC} es la menor (tensión continua V_{DCmin}). Las tensiones V_{DC} en cada momento (instantáneas) determinan la capacidad que tiene el convertidor 3 correspondiente en cuanto a las tensiones de su lado de alterna 3A, de tal manera que al tener en cuenta dichas tensiones V_{DC} , se puede actuar sobre cada convertidor 3 para ajustar su media aritmética, si fuese necesario, evitándose la saturación de las tensiones alternas, lo que, en caso de ocurrir, podría afectar tanto al control de corrientes como incluso a la potencia a entregar a la carga. El mayor riesgo a entrar en saturación es el convertidor 3 con una tensión V_{DC} continua menor, puesto que ofrece un menor margen para modificar su media aritmética asociada antes de llegar a saturación. Así, tomando como referencia además la tensión V_{DC} continua menor entre las medidas (tensión continua V_{DCmin}), se asegura que el convertidor 3 asociado no sature, asegurándose así que el resto tampoco sature. De esta manera, se consigue tener un punto de operación factible para el sistema 100, lo que no se puede lograr de otro modo.

Preferentemente, además, la media aritmética de cada convertidor 3 es menor o igual que un valor máximo determinado que viene definido por la ecuación

$$V_{med_max} = V_{DCmin} - \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}V_f}{2},$$

en donde:

- V_{med_max} : valor máximo de la media aritmética asociada a un convertidor 3.
- V_{DCmin} : tensión V_{DC} continua menor entre las medidas.
- V_f : tensión de fase del lado de la red eléctrica G.

Así, la media aritmética está preferentemente comprendida en un rango delimitado entre el valor máximo V_{med_max} y la mitad de la tensión V_{DC} continua mínima necesaria a la entrada de los convertidores 3 (la mitad de la tensión rectificadora V_{drec}).

En otras realizaciones, el sistema 100 comprende al menos un dispositivo de detección, no representado en las figuras, adaptado para medir la tensión del terminal de alterna 9 correspondiente a cada una de las fases de cada convertidor 3, con respecto al punto de referencia respectivo, y el dispositivo de control 4 está comunicado con dicho dispositivo de detección para recibir dichas medidas dinámicamente, y está configurado para obtener la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 de cada convertidor 3 a partir de dichas medidas recibidas, y también para igualarlas, de manera dinámica (y repetidamente). En dichas realizaciones, la media aritmética en cada caso se puede obtener según la siguiente ecuación:

$$V_{med} = \frac{V_{RP} + V_{SP} + V_{TP}}{3},$$

en donde:

- V_{med} : media aritmética asociada a un convertidor 3.
- V_{RP} : tensión alterna en el terminal de alterna 9 de dicho convertidor 3 correspondiente a una fase (fase R).
- V_{SP} : tensión alterna en el terminal de alterna 9 de dicho convertidor 3 correspondiente a una fase (fase S).
- V_{TP} : tensión alterna en el terminal de alterna 9 de dicho convertidor 3 correspondiente a una fase (fase T).

En el sistema 100 de la invención, en cualquiera de las realizaciones, el dispositivo de control 4 está configurado para igualar todas las medias aritméticas, si determina que no son iguales. Para igualar dichas medias aritméticas, en la realización preferente el dispositivo de control 4 está configurado, de manera dinámica (y repetidamente), para tomar una de las medias aritméticas como referencia y para actuar sobre el resto de los convertidores 3 para provocar que las medias aritméticas de dichos otros convertidores 3 se igualen a la que se ha tomado como referencia, tal y como se ha comentado previamente. En otras realizaciones, el dispositivo de control 4 está configurado para igualar las medias

aritméticas de otra manera, como por ejemplo modificando la media aritmética de referencia e igualando el resto de las medias aritméticas a dicho valor modificado, o estableciendo una media aritmética determinada, en base a los criterios que se consideren oportunos en cada caso, e igualar todas las medias aritméticas a la media aritmética establecida. El dispositivo de detección puede comprender un sensor para cada medida a realizar.

5 Como se muestra en las figuras 4a y 4c, por ejemplo, el dispositivo de control 4 puede comprender una unidad de control configurada para comunicarse con todos los convertidores 3, y dicha unidad de control está además comunicada con los dispositivos de detección del sistema 100 (el dispositivo de detección para medir las tensiones de los terminales de alterna 9 y/o el dispositivo de detección para medir las tensiones V_{DC} continuas).

10 Alternativamente, el dispositivo de control puede comprender una unidad de control para cada convertidor 3, estando cada unidad de control comunicada con los dispositivos de detección para recibir las medidas correspondientes a su convertidor 3 asociado. Las unidades de control pueden estar comunicadas entre sí, de tal manera que pueden identificar, por ejemplo, cuál es la tensión V_{DC} menor.

15 Alternativamente, el dispositivo de control 4 puede comprender una unidad de control para cada convertidor 3, estando cada unidad de control comunicada con los dispositivos de detección para recibir las medidas correspondientes a su convertidor 3 asociado, y una unidad de control central comunicada con todas las unidades de control asociadas a los convertidores 3. De esta manera, la unidad de control central puede recibir, por ejemplo, las tensiones V_{DC} continuas de todos los convertidores 3, puede determinar cuál de ellos es la menor, y puede determinar que tensión V_{DC} continua se establece como la tensión de referencia para que cada unidad de control actúe sobre su convertidor 3 asociado, para modificar, si corresponde y como corresponda, la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 correspondientes.

25 Preferentemente, el dispositivo de control 4 del sistema 100 está además configurado para implementar un control de corrientes sobre los convertidores 3 de manera dinámica (y repetidamente), actuando sobre dichos convertidores 3, para ayudar en la eliminación de las corrientes homopolares entre ellos, al control comentado previamente (igualar los valores de las medias aritméticas). Un control de corrientes de este tipo se describe por ejemplo en el artículo "*Control of Circulating Current in Two Parallel Three-Phase Boost Rectifiers*" de Zhiong Ye, *IEEE Vol. 17, no. 5, September 2002*, y se implementa sobre todos los convertidores 3 menos uno.

30 Por regla general, cada convertidor 3 está configurado para convertir la tensión V_{DC} (en el lado de continua 3C) en tensión alterna (en el lado de alterna 3A), y comprende una pluralidad de interruptores no representados en las figuras, dependiendo la conversión de la apertura/cierre de dichos interruptores. Cuando se dice que el dispositivo de control 4 actúa sobre un convertidor 3, dicho dispositivo de control 4 controla dicha apertura/cierre para realizar la conversión en base a unas señales de apertura/cierre que él mismo genera. Para generar las señales correspondientes de apertura/cierre tiene en cuenta el control mediante el cual se igualan las medias aritméticas de las tensiones de los terminales de alterna 9 de los convertidores 3 (preferentemente además considerando como referencia la media aritmética asociada al convertidor 3 con una tensión V_{DC} continua menor) y, en su caso, un control de corrientes como el mencionado.

35 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método de control adaptado para implementarse en un sistema 100 de conversión de potencia según el primer aspecto de la invención, de tal manera que se consiguen las mismas ventajas que las comentadas para el sistema de la invención. El método de control se ejecuta dinámicamente (y repetidamente). Las explicaciones dadas para el primer aspecto de la invención relativas a las diferentes medidas y cálculos son válidas también para el segundo aspecto, y en su gran mayoría no se vuelven a explicar.

40 En cualquiera de las realizaciones del método se igualan las medias aritméticas de las tensiones de los terminales de alterna 9 de todos los convertidores 3 con respecto a un punto de referencia del lado de continua correspondiente (en todos los casos con respecto a un mismo punto de referencia en el sentido comentado para el primer aspecto de la invención), a un valor mayor o igual que la mitad de la tensión continua mínima necesaria a la entrada del convertidor 3 correspondiente. En una realización preferente del método, el punto de referencia es el primer terminal 1 respectivo.

45 En algunas realizaciones del método se mide la tensión continua V_{DC} entre los dos terminales 1 y 2 del lado de continua de cada convertidor 3, y se obtiene la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 de cada convertidor 3 en función de dichas tensiones continuas V_{DC} medidas y de la tensión en modo común V_{mc} de cada convertidor 3. En particular, preferentemente la media aritmética asociada a cada convertidor 3 se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones en cada caso:

50 - Cuando los primeros terminales 1 aterrados son los terminales positivos (figura 4b):

$$V_{med}(p) = V_{mc} + \frac{V_{DC}}{2},$$

55 - Cuando los primeros terminales 1 aterrados son los terminales negativos (figura 4d):

$$V_{med}(n) = V_{mc} - \frac{V_{DC}}{2},$$

en donde:

$V_{med(p)}$: media aritmética asociada a un convertidor 3, con el terminal positivo aterrado.

$V_{med(n)}$: media aritmética asociada a un convertidor 3, con el terminal negativo aterrado.

5 V_{mc} : tensión en modo común de dicho convertidor 3.

V_{DC} : tensión continua entre los terminales 1 y 2 del lado de continua de dicho convertidor 3.

Como alternativa, tal y como se ha comentado también para el primer aspecto de la invención, la media aritmética asociada a cada convertidor 3 se puede obtener según la siguiente ecuación:

10

$$V_{med} = \frac{V_{RP} + V_{SP} + V_{TP}}{3},$$

en donde:

V_{med} : media aritmética asociada a un convertidor 3.

15 V_{RP} : tensión alterna en el terminal de alterna 9 de dicho convertidor 3 correspondiente a una fase (fase R).

V_{SP} : tensión alterna en el terminal de alterna 9 de dicho convertidor 3 correspondiente a una fase (fase S).

V_{TP} : tensión alterna en el terminal de alterna 9 de dicho convertidor 3 correspondiente a una fase (fase T).

En algunas realizaciones, como en la realización preferente, por ejemplo, la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna 9 con respecto al primer terminal 1 de un convertidor 3 se iguala a un valor que es menor o igual que un valor máximo definido por la siguiente ecuación:

20

$$V_{med_max} = V_{DCmin} - \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}vf}{2},$$

25 en donde

V_{med_max} es el valor máximo de la media aritmética asociada a un convertidor 3,

V_{DCmin} es la tensión V_{DC} continua menor entre las medidas, y

V_f es la tensión de fase de la red eléctrica G.

30 En la realización preferente del método, además, se mide la tensión continua V_{DC} entre los dos terminales 1 y 2 del lado de continua 3C de cada uno de los convertidores 3, se comparan dichas tensiones continuas V_{DC} , se determina cuál de ellas es la menor y se igualan las medias aritméticas de las tensiones de los terminales de alterna 9 de los diferentes convertidores 3 a partir de las tensiones continuas V_{DC} medidas, tomando como referencia la media aritmética asociada al convertidor 3 cuya tensión continua V_{DC} es la menor. En la realización preferente, el valor de las medias aritméticas de todos los convertidores 3 se iguala al valor de la media aritmética medida del convertidor 3 cuya tensión V_{DC} continua es la menor, aunque dicho valor podría ser modificado de la manera deseada, igualándose todos los valores de las medias aritméticas a dicho valor modificado.

35

En la realización preferente, además, se implementa un control de corrientes para eliminar las corrientes homopolares entre ellos, como el comentado para el primer aspecto de la invención, y se implementa sobre todos los convertidores 3 menos uno.

40

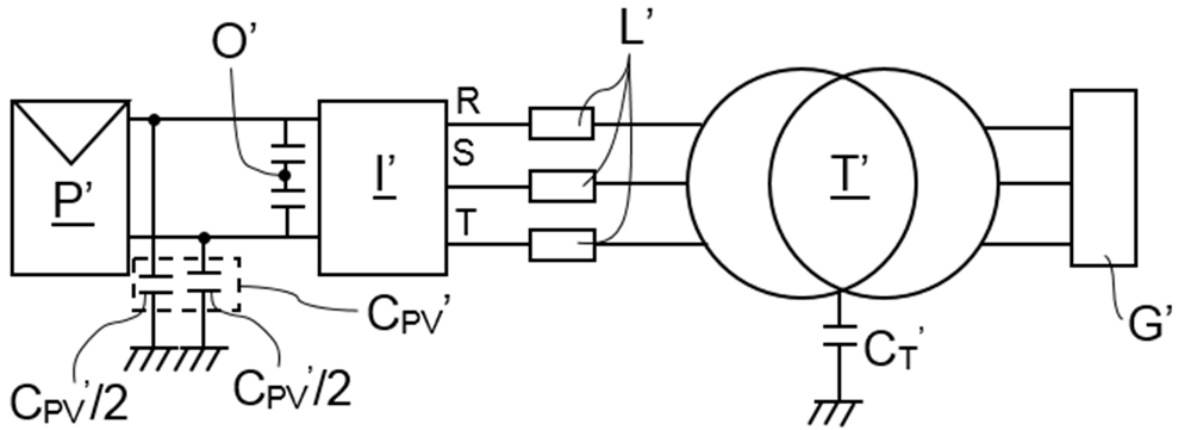
REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de conversión de potencia que comprende una pluralidad de convertidores (3) conectados en paralelo en un lado de alterna del sistema (100) y una fuente (200) de continua respectiva acoplada a un lado de continua (3C) de cada convertidor (3), comprendiendo cada convertidor (3) un lado de alterna (3A) para acoplarse a una red eléctrica (G), un primer terminal (1) y segundo terminal (2) en el lado de continua (3C) y acoplados a la fuente (200) de continua correspondiente, siendo uno de dichos terminales el terminal positivo y siendo el otro terminal el terminal negativo, y un terminal de alterna (9) por cada fase en el lado de alterna (3A), estando los terminales de alterna (9) del lado de alterna (3A) de una misma fase de todos los convertidores (3A) conectados a un punto común de alterna, estando los primeros terminales (1) de los diferentes convertidores (3) del sistema (100) aterrados y siendo los segundos terminales (2) de dichos convertidores (3) independientes unos de otros, estando cada fuente (200) de continua adaptada y configurada para funcionar independiente al resto de fuentes (200), pudiéndose aprovechar la capacidad de cada una de las fuentes (200) de continua, estando los primeros terminales (1) de los diferentes convertidores (3) del sistema (100) unidos entre sí en un punto de unión (PU) que está conectado a tierra, o unidos a tierra de manera independiente, **caracterizado porque** el sistema de conversión de potencia (100) comprende un dispositivo de control (4) que determina o calcula dinámicamente el valor de la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) de cada convertidor (3) con respecto al primer terminal (1) respectivo, y configurado para igualar el valor de todas las medias aritméticas determinadas o calculadas a un valor predeterminado, siendo dicho valor predeterminado mayor o igual que la mitad de la tensión continua mínima necesaria a la entrada del convertidor (3) correspondiente en el caso de que los primeros terminales (1) de los convertidores (3) sean los terminales positivos, y siendo dicho valor predeterminado, con el signo cambiado, mayor o igual que la mitad de la tensión continua mínima necesaria a la entrada del convertidor (3) correspondiente en el caso de que los primeros terminales (1) de los convertidores (3) sean los terminales negativos.
- 10 2. Sistema de conversión de potencia según la reivindicación 1, que comprende al menos un dispositivo de detección adaptado para medir la tensión continua (V_{DC}) entre los dos terminales (1, 2) del lado de continua de cada convertidor (3), estando el dispositivo de control comunicado con el dispositivo de detección para recibir dichas medidas y configurado para, dinámicamente, obtener la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) de cada convertidor (3) con respecto al primer terminal (1) respectivo, e igualarlas, en función de dichas tensiones continuas (V_{DC}) medidas y de la tensión en modo común (V_{mc}) de cada convertidor (3).
- 15 3. Sistema de conversión de potencia según la reivindicación 2, en donde el dispositivo de control (4) está configurado para, dinámicamente, comparar dichas tensiones continuas (V_{DC}), determinar cuál de ellas es la menor e igualar la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) de los diferentes convertidores (3) a partir de las tensiones continua (V_{DC}) medidas, tomando como referencia la media aritmética asociada al convertidor (3) cuya tensión continua (V_{DC}) es la menor.
- 20 4. Método de control para un sistema de conversión de potencia, comprendiendo el sistema (100) una pluralidad de convertidores (3) conectados en paralelo en un lado de alterna del sistema (100) y una fuente (200) de continua respectiva acoplada a un lado de continua (3C) de cada convertidor (3), y comprendiendo cada convertidor (3) un lado de alterna (3A) para acoplarse a una red eléctrica (G), un primer terminal (1) y segundo terminal (2) en el lado de continua (3C) y acoplados a la fuente (200) de continua correspondiente, siendo uno de dichos terminales el terminal positivo y siendo el otro terminal el terminal negativo, y un terminal de alterna (9) por cada fase en el lado de alterna (3A), estando los terminales de alterna (9) del lado de alterna (3A) de una misma fase de todos los convertidores (3A) conectados a un punto común de alterna, estando aterrados los primeros terminales (1) de los diferentes convertidores (3) de dicho sistema (100) y siendo los segundos terminales (2) de dichos convertidores (3) independientes unos de otros, estando configurado dicho método para controlar cada fuente (200) de manera independiente al resto de fuentes (200), pudiéndose aprovechar la capacidad de cada una de las fuentes (200), **caracterizado porque** el método está configurado para implementarse dinámicamente en el sistema (100) para determinar o calcular dinámicamente el valor de la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) de cada convertidor (3) con respecto a primer terminal (1) respectivo, provocando que las medias aritméticas de las tensiones de los terminales de alterna (9) de todos los convertidores (3) con respecto al primer terminal (1) respectivo se igualen a un valor predeterminado, siendo dicho valor predeterminado mayor o igual que la mitad de la tensión continua mínima necesaria a la entrada del convertidor (3) correspondiente en el caso de que los primeros terminales (1) de los convertidores (3) sean los terminales positivos, y siendo dicho valor predeterminado, con el signo cambiado, mayor o igual que la mitad de la tensión continua mínima necesaria a la entrada del convertidor (3) correspondiente en el caso de que los primeros terminales (1) de los convertidores (3) sean los terminales negativos.
- 25 5. Método de control según la reivindicación 4, en donde se mide la tensión continua (V_{DC}) entre los dos terminales (1, 2) del lado de continua de cada convertidor (3), se obtiene la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) de cada convertidor (3), y se igualan, en función de dichas tensiones continuas (V_{DC}) medidas y de la tensión en modo común (V_{mc}) de cada convertidor (3).
- 30 6. Método de control según la reivindicación 5, en donde se iguala la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) con respecto al primer terminal (1) de un convertidor (3) a un valor que es menor o igual que un valor máximo definido por la ecuación

$$V_{med_max} = V_{DCmin} - \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}V_f}{2},$$

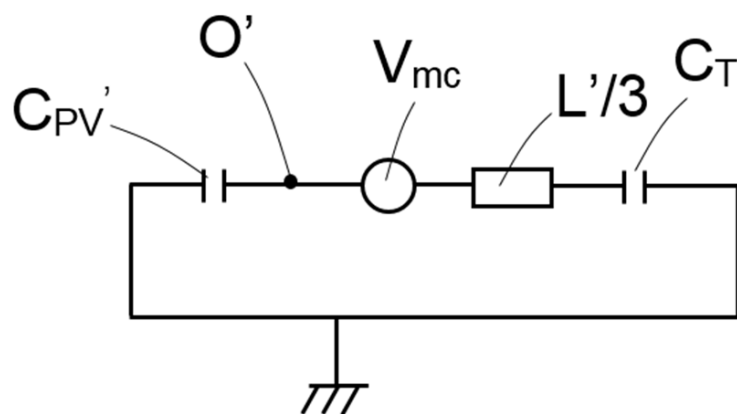
en donde

- 5 V_{med_max} es el valor máximo de la media aritmética asociada a un convertidor (3),
 V_{DCmin} es la tensión continua (V_{DC}) menor entre las medidas, y
 V_f es la tensión de fase de la red eléctrica (G).
- 10 7. Método de control según la reivindicación 5 o 6, en donde se comparan las tensiones continuas (V_{DC}) entre dos terminales (1, 2) del lado (3C) de continua de cada convertidor (3), se determina cuál de ellas es la menor y se igualan la media aritmética de las tensiones de los terminales de alterna (9) de los diferentes convertidores (3) a partir de las tensiones continua (V_{DC}) medidas, tomando como referencia la media aritmética asociada al convertidor (3) cuya tensión continua (V_{DC}) es la menor.



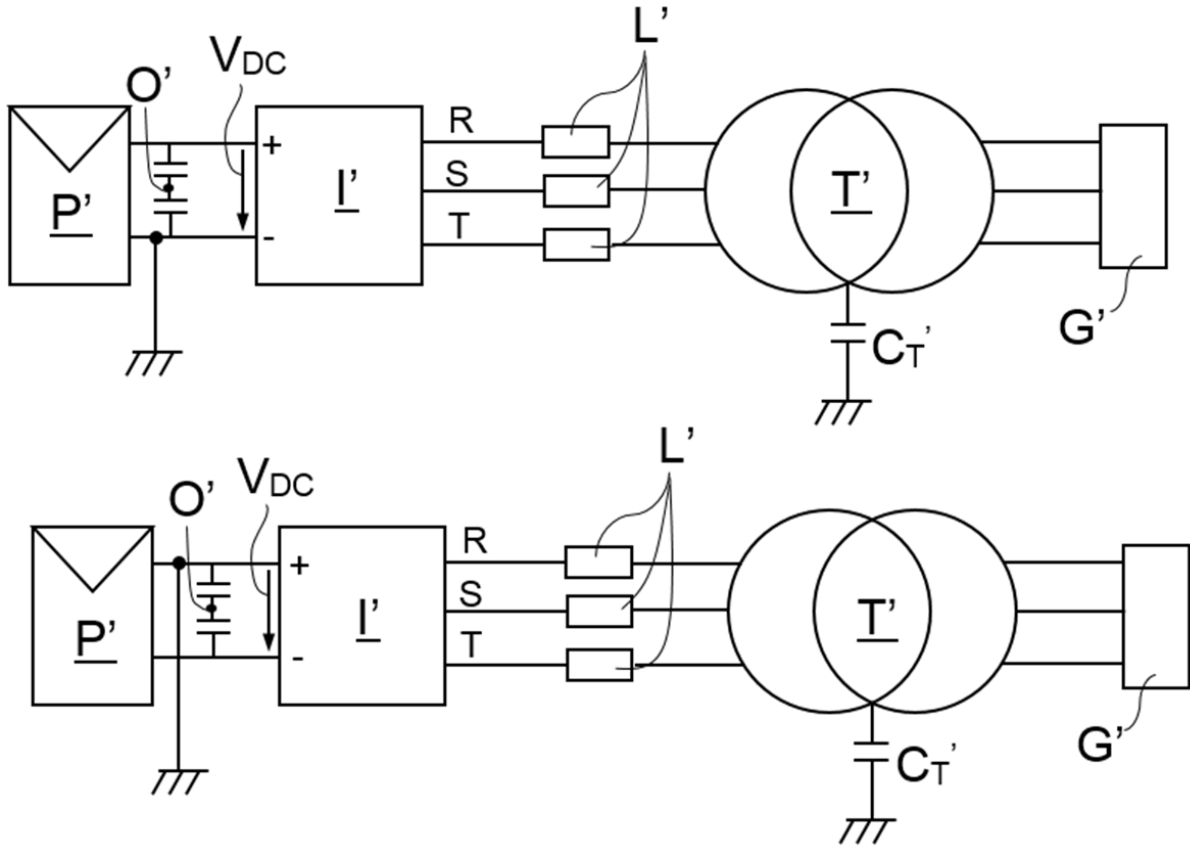
(estado de la técnica anterior)

Fig. 1a



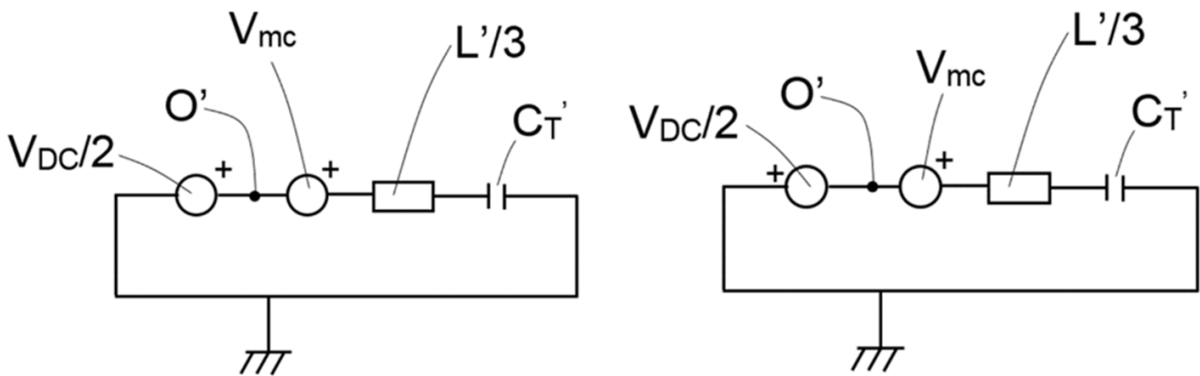
(estado de la técnica anterior)

Fig. 1b



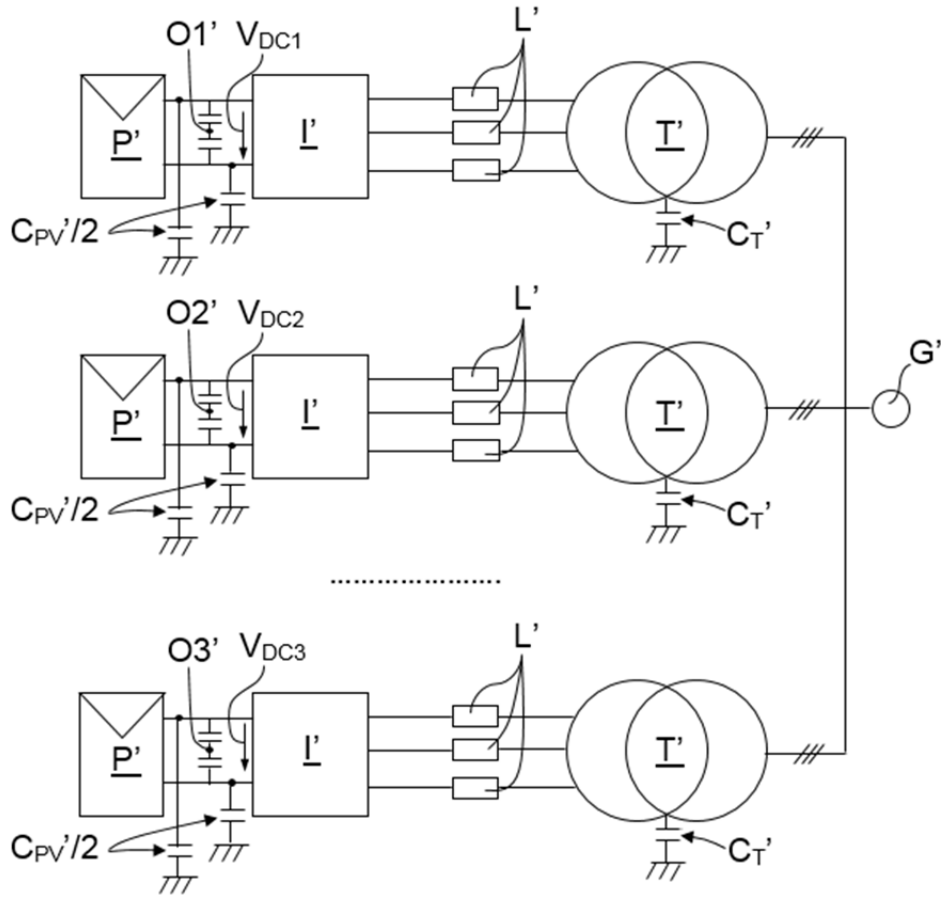
(estado de la técnica anterior)

Fig. 1c



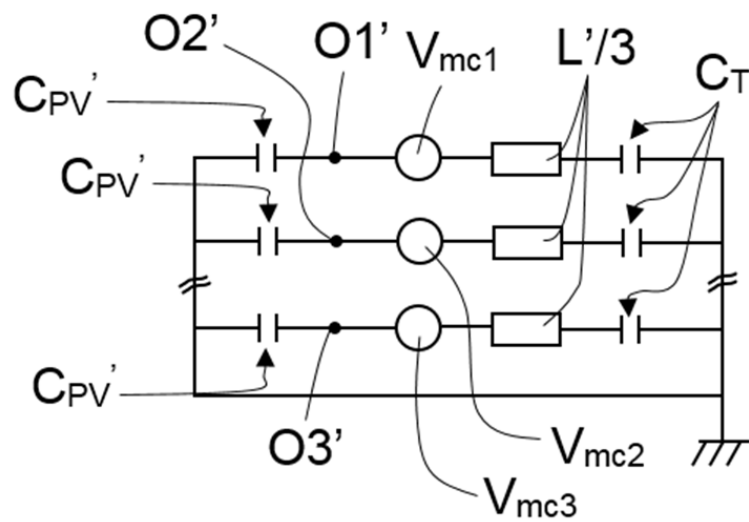
(estado de la técnica anterior)

Fig. 1d



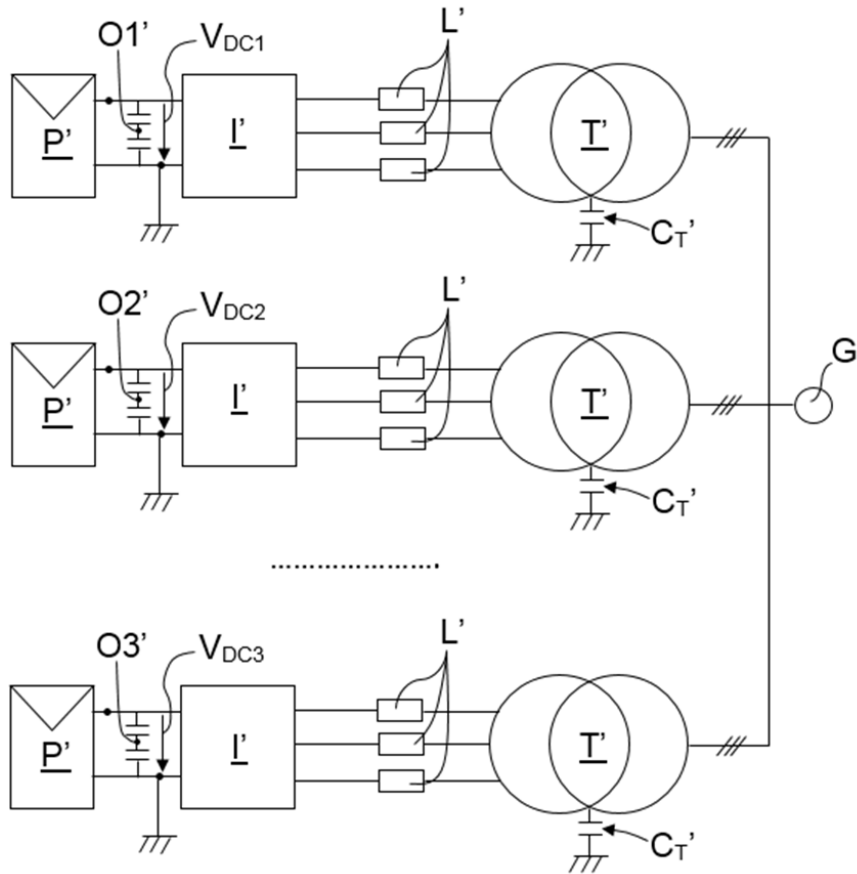
(estado de la técnica anterior)

Fig. 2a



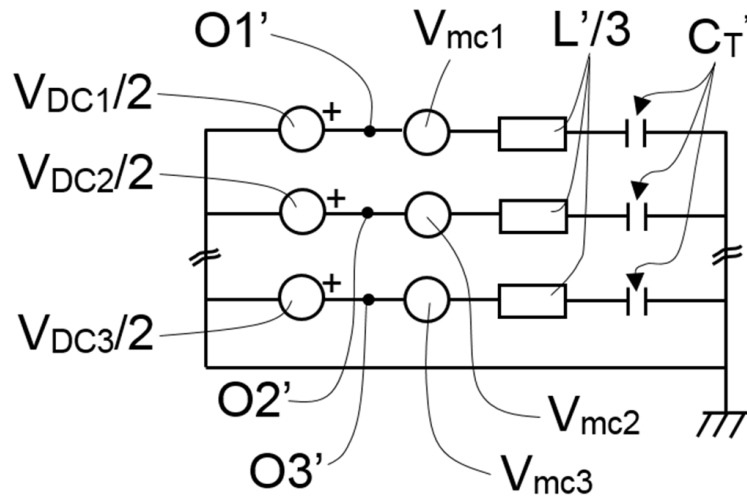
(estado de la técnica anterior)

Fig. 2b



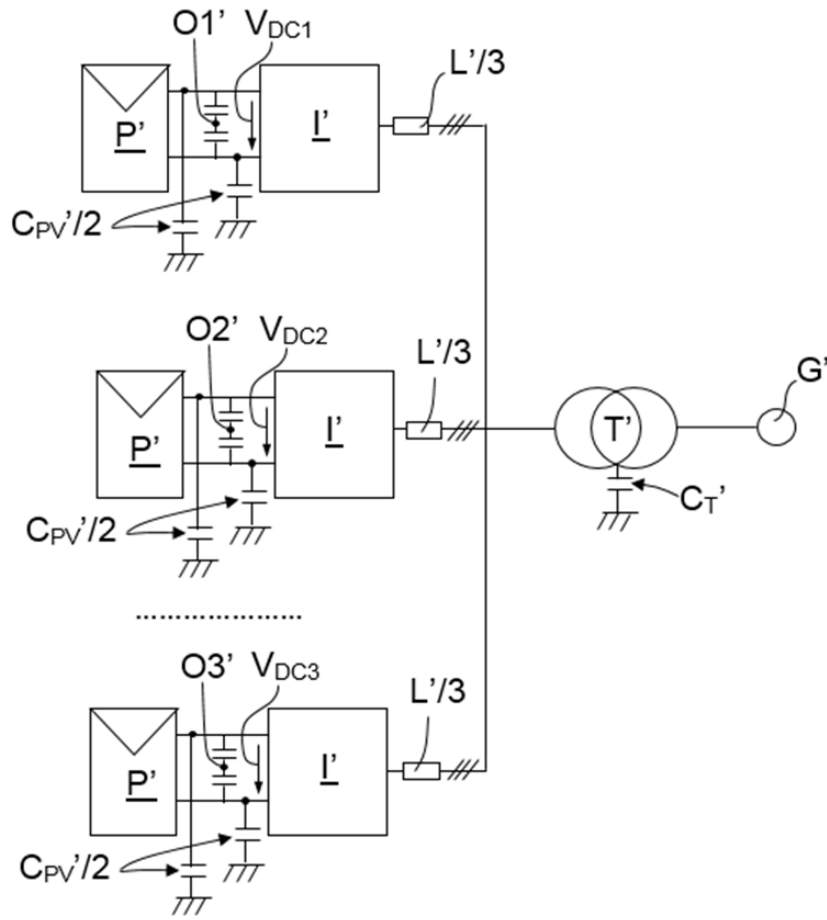
(estado de la técnica anterior)

Fig. 2c



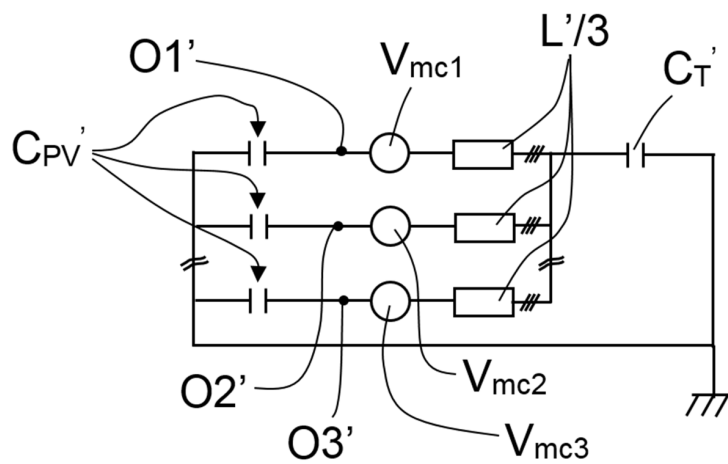
(estado de la técnica anterior)

Fig. 2d



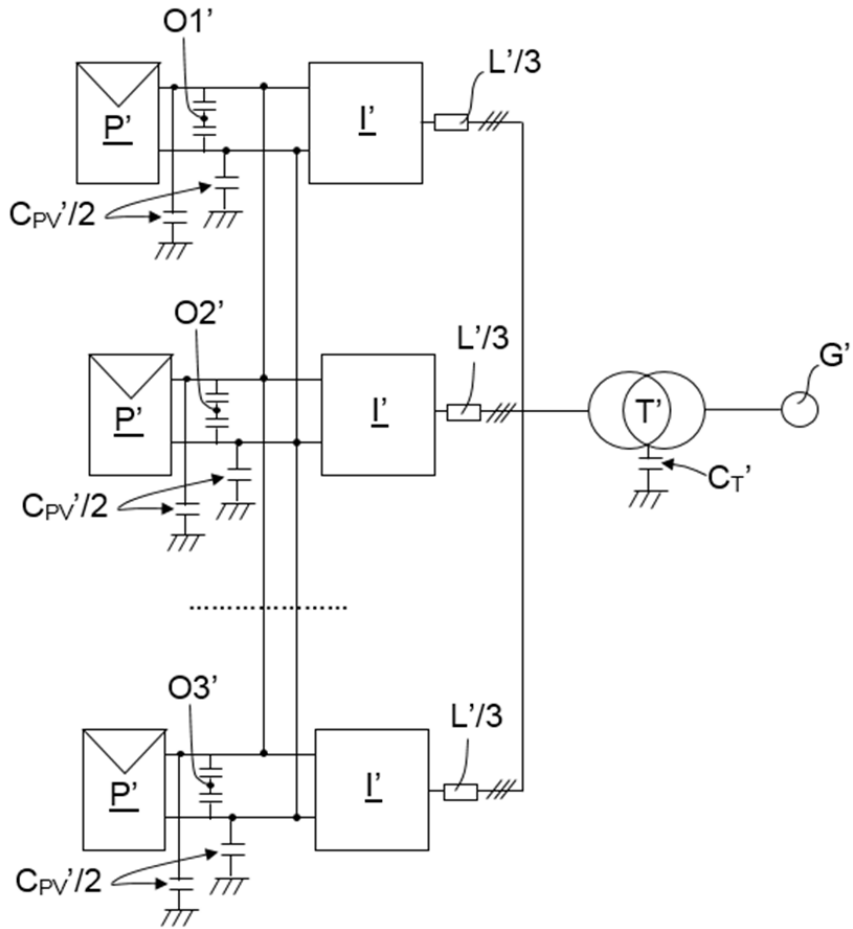
(estado de la técnica anterior)

Fig. 3a



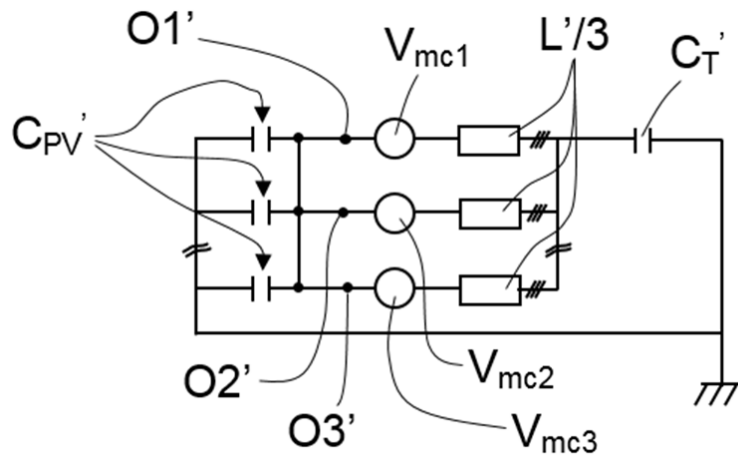
(estado de la técnica anterior)

Fig. 3b



(estado de la técnica anterior)

Fig. 3c



(estado de la técnica anterior)

Fig. 3d

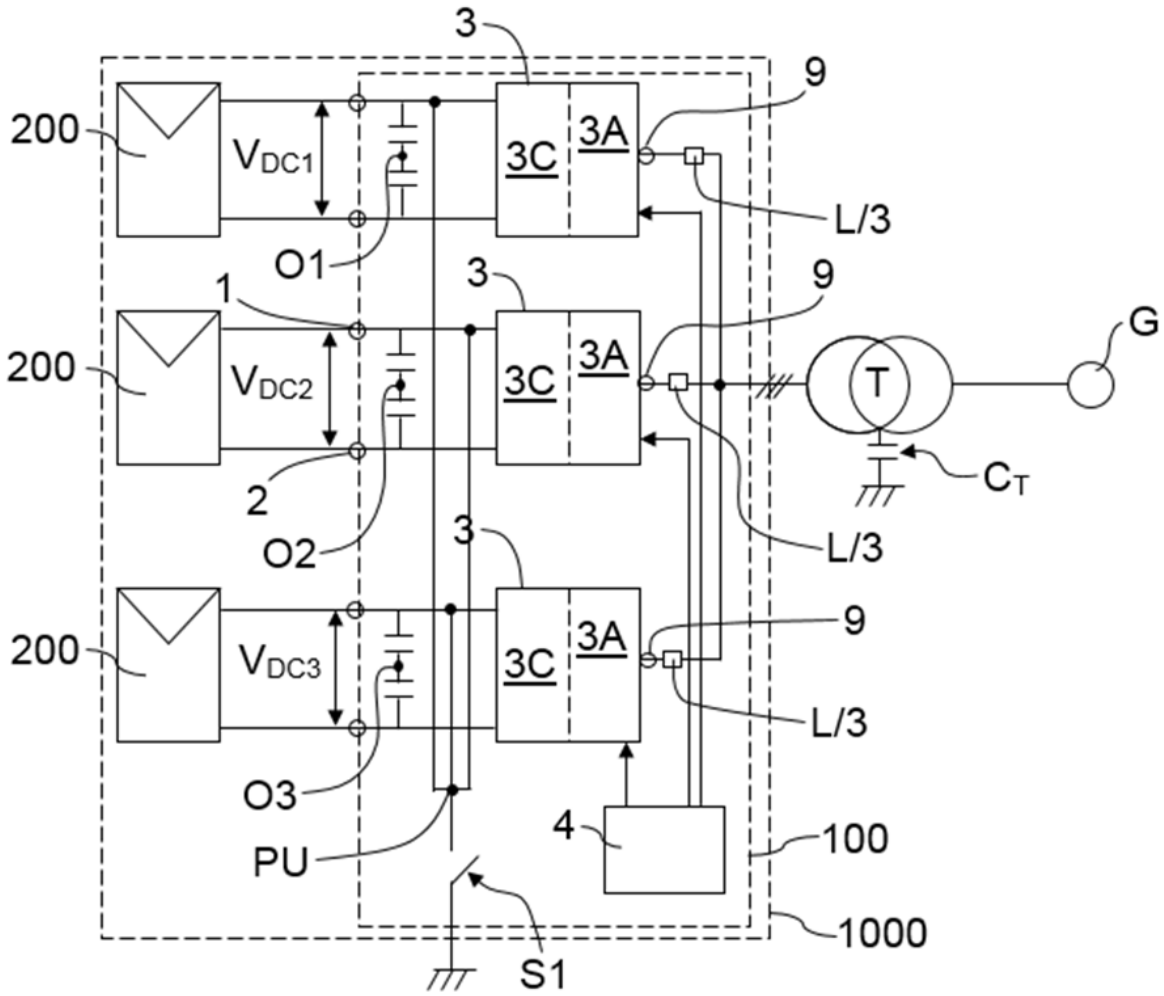


Fig. 4a

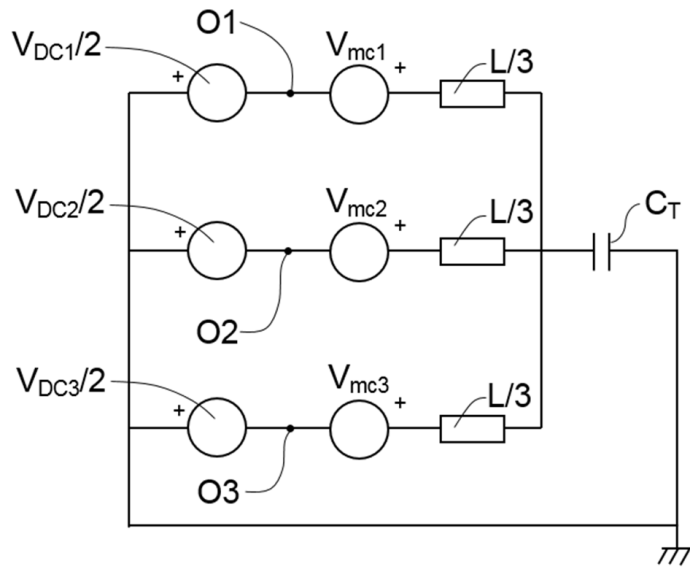


Fig. 4b

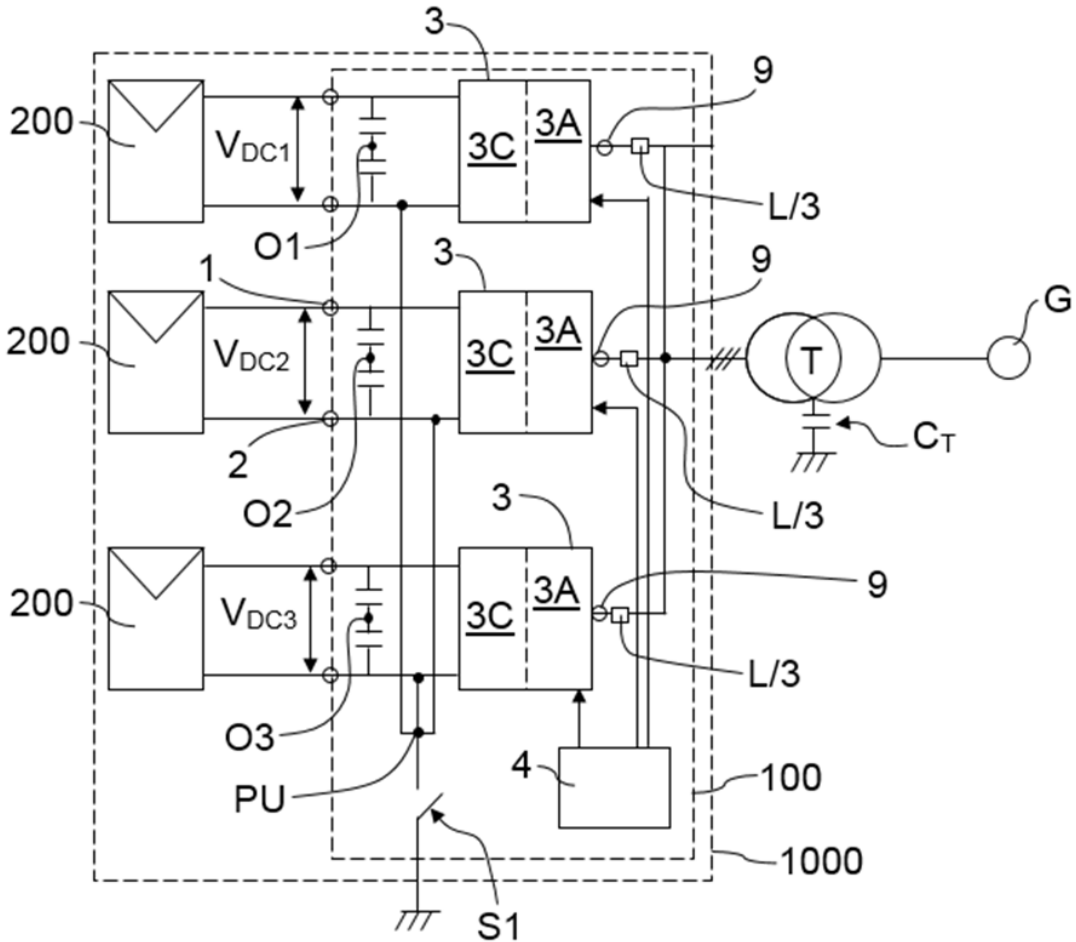


Fig. 4c

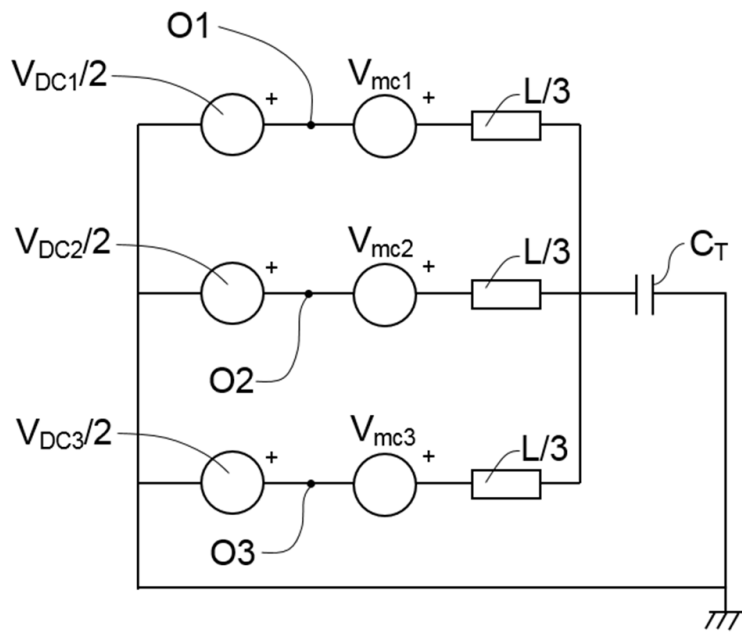


Fig. 4d