

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 925**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02M 7/487 (2007.01)

H02S 40/32 (2014.01)

H02S 50/10 (2014.01)

H02M 7/5387 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.05.2015 PCT/CN2015/078540**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.03.2016 WO16029714**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2015 E 15836712 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 3188336**

54 Título: **Método de modulación de ancho de pulsos de inversor fotovoltaico de tres niveles y modulador**

30 Prioridad:

27.08.2014 CN 201410428123

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

23.10.2020

73 Titular/es:

**SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD. (100.0%)
No. 1699 Xiyou Road, New & High Technology
Industrial Development Zone
Hefei, Anhui 230088, CN**

72 Inventor/es:

**LI, XIAOXUN;
HAN, ZHIQIANG;
LI, HAOYUAN;
MEI, XIAODONG;
YANG, BENHE y
SHEN, KAI**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 788 925 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

Método de modulación de ancho de pulsos de inversor fotovoltaico de tres niveles y modulador

5 La presente descripción reivindica la prioridad de la Solicitud de Patente China Nº 201410428123.5, titulada "THREE-LEVEL PHOTOVOLTAIC INVERTER PULSE WIDTH MODULATION METHOD AND MODULATOR", presentada ante la Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular de China el 27 de agosto de 2014.

Campo técnico

10 La presente descripción se refiere al campo de la tecnología de electrónica de potencia y, en particular, a un método de modulación de ancho de pulsos y a un modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles.

Antecedentes

15 Una Modulación de Ancho de Pulsos de Vector Espacial (SVPWM) es una nueva modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles. La SVPWM tiene muchas ventajas, tales como un espectro armónico mejorado de una forma de onda de salida y un aumento de relación de utilización de una tensión de bus de corriente continua y, de este modo, está ampliamente adoptada.

No obstante, el inversor fotovoltaico de tres niveles en el modo SVPWM es fácil que tenga fallos o problemas anormales (tales como un desplazamiento de potencial de punto medio o una corriente de fuga en modo común excesivamente grande formada cuando una capacitancia parásita a tierra de un conjunto fotovoltaico es grande), afectando por ello la seguridad y la estabilidad de operación de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

20 LEE JUNE-SEOK ET AL: "New Modulation Techniques for a Leakage Current Reduction and a Neutral-Point Voltage Balance in Transformerless Photovoltaic Systems Using a Three-Level Inverter", ACTAS DEL IEEE SOBRE ELECTRÓNICA DE POTENCIA, INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS, EE.UU., vol. 29, nº 4, 1 de Abril de 2014 (01-04-2014), páginas 1720-1732, XP011529937, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2013.2264954 describen un método de modulación de ancho de pulsos (PWM) para un sistema fotovoltaico que usa un inversor de tres niveles. A diferencia de la PWM convencional que usa todos los vectores incluidos en el diagrama de vectores espaciales del inversor de tres niveles, este nuevo método PWM no usa vectores pequeños que generarán las tensiones de salida del inversor y en su lugar usa solamente los vectores grandes, los vectores medios y los vectores cero. Por ello, se pueden controlar la corriente de fuga, la magnitud y frecuencia de la tensión de salida o la tensión en modo común de los inversores de tres niveles.

30 **Compendio**

35 En vista de lo anterior, la presente solicitud proporciona un método de modulación de ancho de pulsos y un modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles, para resolver los fallos o problemas anormales en el inversor fotovoltaico de tres niveles (tales como un desplazamiento de potencial de punto medio o una corriente de fuga en modo común excesivamente grande formada cuando una capacitancia parásita a tierra de un conjunto fotovoltaico es grande).

Un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles incluye:

detectar si un valor eficaz de una corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un primer umbral;

40 conmutar un modo de modulación de ancho de pulsos de un inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo de modulación de ancho de pulsos de vector espacial (SVPWM) de 13 vectores en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral;

45 después de la conmutación del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores, detectar si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que un segundo umbral. El segundo umbral no es mayor que el primer umbral;

conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que el segundo umbral.

50 El modo SVPWM de 13 vectores es un modo SVPWM en el que se descartan 12 cortos de 27 vectores de estado de encendido-apagado del inversor fotovoltaico de tres niveles y solamente se reservan 6 vectores largos, 6 vectores medios y 3 vectores cero. El modo SVPWM discontinuo es un modo SVPWM en el que el inversor fotovoltaico de

tres niveles mantiene que una cierta fase del conmutador de potencia no actúe dentro de un ciclo de conmutación y las otras dos fases de los conmutadores de potencia actúen dos veces dentro de un ciclo de conmutación.

Opcionalmente, antes de la conmutación del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, el método incluye además:

desencadenar que el inversor fotovoltaico de tres niveles se apague para su protección en el caso de detectar que el valor de corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un tercer umbral.

La detección de que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, incluye detectar que una amplitud de una tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que un umbral para un recorrido de baja tensión.

Opcionalmente, después de la conmutación del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores, el método incluye además:

conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM discontinuo en el caso de detectar que una amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles no es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión.

El modo SVPWM discontinuo incluye un primer modo SVPWM discontinuo, un segundo modo SVPWM discontinuo, un tercer modo SVPWM discontinuo o un cuarto modo SVPWM discontinuo.

En el primer modo SVPWM discontinuo, cuando un vector espacial correspondiente a una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a un primer sector grande, una amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a un segundo sector grande, una amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando se gira el vector espacial a un tercer sector grande, una amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a un cuarto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a un quinto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y cuando el vector espacial se gira a un sexto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

En el segundo modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a una segunda media región del primer sector grande o a una primera media región del segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del segundo sector grande o a una primera media región del tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del tercer sector grande o a una primera media región del cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del cuarto sector grande o a una primera media región del quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del quinto sector grande o a una primera media región del sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del sexto sector grande o a una primera media región del primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

En el tercer modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira al segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira al tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira al cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira al quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira al sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y cuando el vector espacial se gira al primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

En el cuarto modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a la primera media región del primer sector grande o a la segunda media región del segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a la primera media región del segundo sector grande o a la segunda media región del tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a la primera media región del tercer sector grande o a la segunda media región del cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se

afianza siempre a $-V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a la primera media región del cuarto sector grande o a la segunda media región del quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; cuando el vector espacial se gira a la primera media región del quinto sector grande o a la segunda media región del sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y cuando el vector espacial se gira a la primera media región del sexto sector grande o a la segunda media región del primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

V_{dc} es una tensión de entrada de corriente continua del inversor fotovoltaico de tres niveles.

Opcionalmente, antes de la conmutación del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, el método incluye además establecer el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo.

Un modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles incluye una unidad de detección y una unidad de conmutación conectada a la unidad de detección. La unidad de detección comprende una primera unidad de detección, y la unidad de conmutación comprende una primera unidad de conmutación, en donde:

la primera unidad de detección está configurada para: detectar si un valor eficaz de una corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un primer umbral; y detectar si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que un segundo umbral, después de que la primera unidad de conmutación conmute el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM de 13 vectores. El segundo umbral no es mayor que el primer umbral.

La primera unidad de conmutación está configurada para: conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de que la primera unidad de detección detecte que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral; y conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo, en el caso de que la primera unidad de detección detecte que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que el segundo umbral. El modo SVPWM de 13 vectores es un modo SVPWM en el que se descartan 12 cortos de 27 vectores de estado de encendido-apagado del inversor fotovoltaico de tres niveles y solamente se reservan 6 vectores largos, 6 vectores medios y 3 vectores cero. El modo SVPWM discontinuo es un modo SVPWM en el que el inversor fotovoltaico de tres niveles mantiene que una cierta fase del conmutador de potencia no actúe dentro de un ciclo de conmutación y las otras dos fases de los conmutadores de potencia actúen dos veces dentro de un ciclo de conmutación.

La unidad de detección incluye además una segunda unidad de detección configurada para detectar si la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que el umbral para un recorrido de baja tensión. La unidad de conmutación incluye además una segunda unidad de conmutación configurada para conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar que la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión.

Como se puede ver a partir de las soluciones técnicas anteriores, en el caso de detectar que existen riesgos de seguridad potenciales en el inversor fotovoltaico de tres niveles, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores. En el modo SVPWM de 13 vectores, se descartan los vectores cortos, que de otro modo causarían fallos o problemas anormales (tales como un desplazamiento de potencial de punto medio o una corriente de fuga en modo común excesivamente grande formada cuando una capacitancia parásita a tierra de un conjunto fotovoltaico es grande) en el inversor fotovoltaico de tres niveles, y de este modo los problemas existentes en la tecnología convencional se resuelven de manera eficaz.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos necesarios para ser usados en la descripción de las realizaciones o la tecnología convencional se describen brevemente de la siguiente manera, de modo que las soluciones técnicas según las realizaciones en la presente invención o según la tecnología convencional lleguen a estar más claras. Es obvio que los dibujos adjuntos en la siguiente descripción son solamente algunas realizaciones de la presente invención. Para los expertos en la técnica, se pueden obtener otros dibujos adjuntos según estos dibujos adjuntos sin ningún trabajo creativo. El alcance de la presente invención se define por las reivindicaciones.

La Figura 1 es un diagrama de flujo de un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles según una realización que no está en el alcance de la presente invención;

La Figura 2 es un diagrama de estructura topológica esquemática de un inversor fotovoltaico de tres niveles según una realización de la presente invención;

5 La Figura 3 es un diagrama de flujo de un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles para reducir una amplitud de una tensión en modo común según una realización que no está en el alcance de la presente invención;

La Figura 4 es un diagrama de vector espacial de una tensión de tres niveles en el modo SVPWM convencional;

La Figura 5 es un diagrama de vector espacial de una tensión de tres niveles en un modo SVPWM de 13 vectores según una realización de la presente invención;

10 La Figura 6 es un diagrama de flujo de un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles para reducir una amplitud de una tensión en modo común y las pérdidas de conmutación del inversor según una realización de la presente invención;

La Figura 7 es un diagrama de una distribución de secuencia de vector espacial cuando un vector espacial correspondiente a una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a un sector pequeño D2 mostrado en la Figura 5 en el modo SVPWM de 13 vectores;

15 La Figura 8 es un diagrama de una distribución de secuencia de vector espacial cuando un vector espacial correspondiente a una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a un sector pequeño D14 que se muestra en la Figura 4 en un modo SVPWM continuo;

20 La Figura 9 es un diagrama de una distribución de secuencia de vector espacial cuando un vector espacial correspondiente a una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a un sector pequeño D14 mostrado en la Figura 4 en un modo SVPWM discontinuo;

Las Figuras 10a a 10d son diagramas de estado de sujeción de amplitud de las tensiones de salida del inversor fotovoltaico de tres niveles en cuatro modos SVPWM discontinuos respectivamente;

25 La Figura 11 es un diagrama de flujo de un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles para suprimir un desplazamiento de potencial de punto medio según una realización que no está en el alcance de la presente invención;

La Figura 12 es un diagrama de flujo de un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles para suprimir un desplazamiento de potencial de punto medio y reducir las pérdidas de conmutación del inversor según una realización de la presente invención; y

30 La Figura 13 es un diagrama estructural esquemático de un modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles según una realización de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones

La solución técnica según las realizaciones de la presente invención se describirá clara y completamente de la siguiente manera junto con los dibujos adjuntos en las realizaciones de la presente invención. El alcance de la presente invención se define por las reivindicaciones.

35 Con referencia a la Figura 1, la presente solicitud proporciona un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles, para resolver los fallos o problemas anormales en el inversor fotovoltaico de tres niveles (tales como un desplazamiento de potencial de punto medio o una corriente de fuga en modo común excesivamente grande formada cuando una capacitancia parásita a tierra de un conjunto fotovoltaico es grande). El método incluye los siguientes pasos 101 a 102.

40 En el paso 101, se detecta si existen riesgos de seguridad potenciales en el inversor fotovoltaico de tres niveles. Si existen los riesgos de seguridad potenciales en el inversor fotovoltaico de tres niveles, el proceso pasa al paso 102; de otro modo, el proceso vuelve al paso 101.

45 En el paso 102, un modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM (Modulación de Ancho de Pulsos de Vector Espacial) de 13 vectores. El modo SVPWM de 13 vectores es un modo SVPWM en el que se descartan 12 cortos de 27 vectores de estado de encendido-apagado del inversor fotovoltaico de tres niveles y solamente se reservan 6 vectores largos, 6 vectores medios y 3 vectores cero.

50 Según la realización, en el modo SVPWM de 13 vectores, se descartan los vectores cortos, que de otro modo causarían fallos o problemas anormales (tales como un desplazamiento de potencial de punto medio o una corriente de fuga en modo común excesivamente grande formada cuando una capacitancia parásita a tierra de un conjunto fotovoltaico es grande) en el inversor fotovoltaico de tres niveles, y, de este modo, los problemas existentes en la tecnología convencional se resuelven de manera eficaz. El esquema se describe en detalle en lo sucesivo en

términos de cómo evitar una corriente de fuga en modo común excesivamente grande y cómo suprimir un desplazamiento de potencial de punto medio, de modo que los expertos puedan entenderlo fácilmente.

(1) Cómo evitar una corriente de fuga en modo común excesivamente grande

5 El inversor fotovoltaico de tres niveles es un dispositivo de conversión de energía común adoptado en un sistema de generación de energía fotovoltaica conectado a la red, y se usa para convertir una corriente continua emitida desde un conjunto fotovoltaico a una corriente alterna y entonces enviar la corriente alterna a la red eléctrica. La estructura topológica del inversor fotovoltaico de tres niveles se muestra en la Figura 2 (el inversor fotovoltaico de tres niveles tiene un gran número de estructuras topológicas, solamente una de las cuales se muestra en esta realización). Una capacitancia parásita a tierra C_3 está formada entre el conjunto fotovoltaico y una carcasa puesta a tierra. Y cuando 10 hay una conexión eléctrica directa entre el conjunto fotovoltaico y la red eléctrica, la capacitancia parásita C_3 , una impedancia de la red eléctrica y un elemento de filtro de salida del inversor fotovoltaico de tres niveles forma un bucle resonante en modo común.

15 El tamaño de la capacitancia parásita C_3 se relaciona con factores ambientales externos. Cuando el conjunto fotovoltaico está en condiciones húmedas, tal como clima lluvioso, la capacitancia parásita C_3 será mayor. Una acción de un conmutador de potencia del inversor fotovoltaico de tres niveles puede causar una variación en una tensión en modo común U_{com} en la capacitancia parásita C_3 . Y cuando la capacitancia parásita C_3 es relativamente grande, la tensión en modo común U_{com} variada en la capacitancia parásita C_3 puede excitar el circuito resonante en modo común para producir una corriente de fuga en modo común i_{com} , que aumenta las pérdidas de conducción electromagnética del sistema de generación de energía fotovoltaica conectado a la red, reduce las compatibilidades 20 electromagnéticas y causa problemas de seguridad.

25 Considerando que la corriente de fuga en modo común i_{com} se puede reducir reduciendo la amplitud de la tensión en modo común U_{com} , de este modo, se pueden aliviar eficazmente una serie de problemas causados por la corriente de fuga en modo común i_{com} , se propone un esquema para reducir la amplitud de la tensión en modo común U_{com} de una fuente que genera la tensión en modo común U_{com} . Con referencia a la Figura 3, el método incluye los siguientes pasos 301 a 302.

30 En el paso 301, se detecta si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral. Si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, el proceso pasa al paso 302, de otro modo, el proceso vuelve al paso 301.

35 En el paso 302, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores.

El análisis específico del esquema mostrado en la Figura 3 es de la siguiente manera.

40 Como es sabido, la tensión en modo común en un sistema de fuente de tensión trifásica se define como un componente común de una tensión de salida de tres niveles con relación a la tierra de referencia, que también se conoce como tensión de secuencia cero. En el inversor fotovoltaico de tres niveles mostrado en la Figura 2, basado en la ley de tensión de Kirchhoff, se obtiene que

$$\begin{cases} u_a = u_{ga} - Ri_a - L \frac{di_a}{dt} + U_{com} \\ u_b = u_{gb} - Ri_b - L \frac{di_b}{dt} + U_{com} \\ u_c = u_{gc} - Ri_c - L \frac{di_c}{dt} + U_{com} \end{cases}$$

45 En la fórmula anterior, u_a , u_b , y u_c son un componente de una tensión de salida de fase A con relación a la tierra de referencia, un componente de una tensión de salida de fase B con relación a la tierra de referencia, y un componente de una tensión de salida de fase C con relación a la tierra de referencia en la secuencia enumerada, u_{ga} , u_{gb} y u_{gc} , son la tensión de salida de fase A, la tensión de salida de fase B y tensión de salida de fase C en la secuencia enumerada, R es la impedancia de la red eléctrica, i_a , i_b e i_c son una corriente de salida de fase A, una corriente de salida de fase B y una corriente de salida de fase C en la secuencia enumerada, L es un elemento de filtro de salida del inversor fotovoltaico de tres niveles, y U_{com} es una tensión en modo común.

Una expresión aproximada de la tensión en modo común U_{com} se obtiene añadiendo las tres ecuaciones de tensión anteriores de la siguiente manera:

$$U_{com} = \frac{u_a + u_b + u_c}{3}$$

Se puede ver a partir de la expresión de la tensión en modo común U_{com} , la tensión en modo común producida por el inversor fotovoltaico de tres niveles es una señal de salto de alta frecuencia relacionada con una frecuencia de conmutación, un estado de conmutación y una amplitud de una tensión de bus de corriente continua. En el modo SVPWM, la tensión de salida del inversor fotovoltaico de tres niveles y, de este modo, la variación de la tensión en modo común U_{com} se determina por una combinación de apagado de los conmutadores de potencia. Es decir, el proceso de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles es la fuente de la tensión en modo común U_{com} .

El modo SVPWM es un modo de modulación de ancho de pulsos común para el inversor fotovoltaico de tres niveles, e incluye un modo SVPWM continuo y un modo SVPWM discontinuo. El principio del modo SVPWM es de la siguiente manera. Una tensión alterna sinusoidal trifásica emitida por el inversor fotovoltaico de tres niveles se representa por un vector de espacio giratorio, y luego un valor instantáneo del vector espacial es una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles. Un espacio de rotación del vector espacial se divide en varios sectores pequeños, y el valor instantáneo del vector espacial girado a cualquiera de los vectores pequeños se puede obtener sintetizando los vectores de estado de conmutación del inversor fotovoltaico de tres niveles en el límite del sector pequeño, de modo que una magnitud y una dirección del valor instantáneo del vector espacial se pueda controlar controlando un tiempo de acción del vector de estado de conmutación implicado en la sintetización.

Cada brazo de puente de fase del inversor fotovoltaico de tres niveles tiene tres estados de conmutación y, por consiguiente, el inversor fotovoltaico de tres niveles tiene $3^3 = 27$ estados de conmutación en total. El punto medio "O" de un condensador de bus directo es un potencial de referencia de nivel cero, y la tensión de bus positivo $+V_{dc}/2$ se define como nivel 1, y la tensión de bus negativo $-V_{dc}/2$ se define como nivel -1. Así, el inversor fotovoltaico de tres niveles tiene 27 vectores de estado de conmutación en total, incluyendo 12 vectores cortos, 6 vectores medios, 6 vectores largos y 3 vectores cero, y el estado de conmutación y la amplitud de la tensión en modo común se muestran en la Tabla 1.

el tipo de vector	la amplitud de la tensión en modo común	el estado de conmutación
vector cero	0	(1 1 1), (0 0 0), (-1 -1 -1)
vector corto	$V_{dc}/6$	(0 1 0), (0 0 -1), (1 0 0), (0 -1 0), (0 0 1), (-1 0 0)
	$V_{dc}/3$	(0 -1 -1), (1 1 0), (-1 0 -1), (0 1 1), (-1 -1 0), (1 0 1)
vector medio	0	(1 0 -1), (0 1 -1), (-1 1 0), (-1 0 1), (0 -1 1), (1 -1 0)
vector largo	$V_{dc}/6$	(1 -1 -1), (1 1 -1), (-1 1 -1), (-1 1 1), (-1 -1 1), (1 -1 1)

Tabla 1 tabla de correspondencias del tipo de vector, la amplitud de la tensión en modo común y el estado de conmutación

Como se puede ver en la Tabla 1, los vectores medios y los vectores cero no producen la tensión en modo común, la amplitud de la tensión en modo común producida por los vectores largos es solamente $V_{dc}/6$, y la amplitud de la tensión en modo común producida por algunos de los vectores cortos es grande. En el modo SVPWM mencionado los antecedentes, se adoptan todos los 27 vectores de estado de conmutación, lo que causa más tensiones en modo común de alta frecuencia. En la solicitud, descartando los vectores cortos que de otro modo producirían la tensión en modo común con amplitudes relativamente grandes, se proporciona un modo SVPWM con menos tensiones en modo común de alta frecuencia, que se define como el modo SVPWM de 13 vectores por facilidad de la descripción.

Un diagrama de vector espacial de la tensión de tres niveles en el modo SVPWM mencionado en los antecedentes se muestra en la Figura 4 (el diagrama de vector espacial de la tensión de tres niveles mostrado en la Figura 4 se divide por igual en 6 sectores grandes por 6 sectores largos, para obtener grandes sectores I a VI que comienzan desde el eje a y se distribuyen en sentido contrario a las agujas del reloj en la secuencia enumerada. Entonces, cada sector grande se divide por igual en 4 sectores pequeños, así que se pueden obtener 24 sectores pequeños D1-D24. Suponiendo que el valor instantáneo del vector espacial cuando se gira al sector pequeño D14 en un cierto momento, se puede obtener sintetizando (1 1 -1), (1 0 -1), (0 0 -1), y (1 1 0)). Y un diagrama de vector espacial de la tensión de tres niveles en el modo SVPWM de 13 vectores se muestra en la Figura 5 (el diagrama de vector espacial de la tensión de tres niveles mostrada en la Figura 5 se divide por igual en 6 sectores grandes por 6 vectores largos, para obtener sectores grandes I a VI que comienzan desde el eje a y se distribuyen en sentido contrario a las agujas del reloj en la secuencia enumerada. Entonces, cada sector grande se divide por igual en 2 sectores pequeños, así que se pueden obtener 24 sectores pequeños D1-D12. Suponiendo que el valor instantáneo del vector espacial

cuando se gira al sector pequeño D2 en un cierto momento, se puede obtener sintetizando (1 1 -1), (1 0 -1) y (0 0 0)).

En general, en el esquema mostrado en la Figura 3, en el modo SVPWM de 13 vectores, solamente se reservan los 13 vectores de estado de conmutación que no causan demasiado impacto en la amplitud de la tensión en modo común U_{com} , así que cuando la capacitancia parásita a tierra C_3 es grande, se puede reducir la corriente de fuga en modo común i_{com} , aliviando por ello las pérdidas de conducción electromagnéticas del sistema aumentadas, las compatibilidades electromagnéticas reducidas y los problemas de seguridad causados por la corriente de fuga en modo común i_{com} .

Además, en una realización de la presente invención, para reducir la pérdida de conmutación del inversor fotovoltaico de tres niveles, se propone un esquema basado en el esquema que se muestra en la Figura 3, para reducir tanto la amplitud de la tensión en modo común U_{com} como la pérdida de conmutación del inversor. Con referencia a la Figura 6, el método incluye los siguientes pasos 601 a 604.

En el paso 601, se detecta si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral. Si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común es mayor que el primer umbral, el proceso pasa al paso 602, de otro modo, el proceso vuelve al paso 601.

En el paso 602, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores.

En el paso 603, se detecta si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que el segundo umbral. Si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común no es mayor que el segundo umbral, el proceso pasa al paso 604, de otro modo, el proceso vuelve al paso 603.

En el paso 604, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM discontinuo. El segundo umbral no es mayor que el primer umbral. Preferiblemente, se proporciona un intervalo de histéresis entre el segundo umbral y el primer umbral para evitar la conmutación frecuente entre los dos modos de modulación en una condición crítica.

El análisis específico del esquema mostrado en la Figura 6 es de la siguiente manera.

La tensión alterna sinusoidal trifásica emitida por el inversor fotovoltaico de tres niveles se representa por un vector espacial giratorio. Suponiendo que el valor instantáneo del vector espacial cuando se gira al sector pequeño D2 mostrado en la Figura 5 en un cierto momento, y para menos pérdidas de conmutación, cada fase del conmutador de potencia del inversor fotovoltaico de tres niveles se requiere que actúe solamente dos veces dentro de un ciclo de conmutación, como se muestra en la Figura 7.

Suponiendo también que el valor instantáneo del vector espacial gira al sector pequeño D14 mostrado en la Figura 4 en un cierto momento, y para menos pérdidas de conmutación, se puede requerir que cada fase del conmutador de potencia del inversor fotovoltaico de tres niveles actúe solamente dos veces dentro de un ciclo de conmutación, como se muestra en la Figura 8. En este caso, se hace referencia al modo de modulación como el modo SVPWM continuo. No obstante, considerando que un vector (0 0 1) y un vector (1 1 0) representan un mismo vector corto, si un tiempo de acción del vector (0 0 -1) se desplaza al vector (1 1 0), una distribución del espacio la secuencia del vector espacial llegará a ser la mostrada en la Figura 9. Con esto, bajo la premisa de asegurar que el tiempo de acción del vector espacial original se mantenga constante, el conmutador de potencia de fase A no actúa, para eliminar la pérdida de conmutación de la fase A durante un ciclo de conmutación. De manera similar, un tiempo de acción del vector (1 1 0) se desplaza al vector (0 0 -1), de modo que el conmutador de fase C no actúe en un ciclo de conmutación. En este caso, se hace referencia al modo de modulación como el modo SVPWM discontinuo.

En general, en el modo SVPWM discontinuo, el inversor fotovoltaico de tres niveles puede mantener que cierta fase del conmutador de potencia no actúe dentro de un ciclo de conmutación y las otras dos fases de los conmutadores de potencia actúen dos veces dentro de un ciclo de conmutación. En comparación con el modo SVPWM continuo y el modo SVPWM de 13 vectores, la pérdida de conmutación en el modo SVPWM discontinuo es más pequeña. Así, cuando la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles ya no es excesivamente grande, el modo de modulación del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM discontinuo, para reducir aún más la pérdida de conmutación durante la operación del inversor fotovoltaico de tres niveles. Y la conmutación de ida y vuelta entre los dos modos de modulación no solamente puede asegurar una corriente de fuga en modo común i_{com} baja, sino también asegurar una pérdida de conmutación baja.

Específicamente, el modo SVPWM discontinuo puede incluir un primer modo SVPWM discontinuo, un segundo modo SVPWM discontinuo, un tercer modo SVPWM discontinuo y un cuarto modo SVPWM discontinuo (en las Figuras 10a a 10d, AP indica que la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$, BP indica que la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$, CP indica que la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$, AN indica que la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$, BN indica que la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$, y CN indica que la amplitud de fase C del

inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. V_{dc} es una tensión de entrada de corriente continua del inversor fotovoltaico de tres niveles).

Como se muestra en la Figura 10a, en el primer modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a un primer sector grande (esto es, un sector grande I), la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a un segundo sector grande (esto es, un sector grande II), la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a un tercer sector grande (esto es, un sector grande III), la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a un cuarto sector grande (esto es, un sector grande IV), la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a un quinto sector grande (esto es, un sector grande V), la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a un sexto sector grande (esto es, un sector grande VI), la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

Como se muestra en la Figura 10b, en el segundo modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a una segunda media región del primer sector grande o a una primera media región del segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del segundo sector grande o a una primera media región del tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del tercer sector grande o a una primera media región del cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del cuarto sector grande o a una primera media región del quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del quinto sector grande o a una primera mitad del sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del sexto sector grande o a la primera media región del primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

Como se muestra en la Figura 10c, en el tercer modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira al segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira al tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira al cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira al quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira al sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira al primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

Como se muestra en la Figura 10d, en el cuarto modo SVPWM discontinuo, cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a la primera media región del primer sector grande o a la segunda media región del segundo sector grande, la amplitud en fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a la primera media región del segundo sector grande o a la segunda media región del tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a la primera media región del tercer sector grande o a la segunda media región del cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a la primera media región del cuarto sector grande o a la segunda media región del quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a la primera media región del quinto sector grande o a la segunda media región del sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$. Cuando el vector espacial se gira a la primera media región del sexto sector grande o a la segunda media región del primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$.

Además, preferiblemente, antes del paso 301 mostrado en la Figura 3 o del paso 601 mostrado en la Figura 6, el método incluye además: en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un tercer umbral, se desencadena que el inversor fotovoltaico de tres niveles se apague por protección (que no se muestra en las Figuras 3 y 6), para evitar el desbordamiento de la corriente de fuga en modo común y proteger el inversor fotovoltaico de tres niveles.

Como se puede ver a partir de la descripción anterior con respecto a (1), en la realización, en el caso de detectar que la corriente en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles está desbordándose, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores. En el modo SVPWM de 13 vectores, se descartan los vectores cortos que de otro modo causarían un

aumento de la corriente de fuga en modo común y, de este modo, se resuelven los problemas, tales como una corriente de fuga en modo común excesivamente grande debido a una capacidad parásita a tierra grande del conjunto fotovoltaico.

(2) Cómo suprimir el desplazamiento de potencial de punto medio

5 El recorrido de baja tensión del inversor fotovoltaico de tres niveles es que cuando la tensión de la red eléctrica cae debido a fallos o perturbaciones de la red eléctrica, el inversor fotovoltaico de tres niveles puede operar continuamente en un modo conectado a la red, y emitir una cierta corriente reactiva según el estándar. No obstante, en el modo SVPWM mencionado en los antecedentes, debido a los vectores cortos, el desplazamiento de potencial de punto medio ocurre en el inversor fotovoltaico de tres niveles cuando cae la tensión de la red eléctrica, dando como resultado una amenaza para la operación fiable del sistema de generación de energía fotovoltaica conectado a la red.

15 Considerando que entre los 27 vectores de estado de conmutación (que incluyen 12 vectores cortos, 6 vectores medios, 6 vectores largos y 3 vectores cero) en el modo SVPWM mencionado en los antecedentes, solamente los 12 vectores cortos causarían el desplazamiento de potencial de punto medio, así que se propone un método para suprimir eficazmente el desplazamiento de potencial de punto medio. Con referencia a la Figura 11, el método incluye los siguientes pasos 110 a 111.

20 En el paso 110, se detecta si una amplitud de una tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que un umbral para el recorrido de baja tensión. Si la amplitud de la tensión en el lado de la línea es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión, el proceso pasa al paso 111, de otro modo, el proceso vuelve al paso 110.

En el paso 111, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores.

25 Como se muestra en la Figura 11, en el caso de detectar que el desplazamiento de potencial de punto medio ocurrirá en el inversor fotovoltaico de tres niveles, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores. En el modo SVPWM de 13 vectores, se descartan los vectores cortos que de otro modo causarían el desplazamiento de potencial de punto medio y, de este modo, se suprime de manera eficaz el desplazamiento de potencial de punto medio.

30 Además, en una realización de la presente invención, para reducir la pérdida de conmutación del inversor fotovoltaico de tres niveles, se propone un esquema basado en el esquema que se muestra en la Figura 11, para no solamente suprimir eficazmente el desplazamiento de potencial de punto medio sino también reducir la pérdida de conmutación. Con referencia a la Figura 12, el método incluye los siguientes pasos 120 a 123.

35 En el paso 120, se detecta si la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión. Si la amplitud de la tensión en el lado de la línea es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión, el proceso pasa al paso 121, de otro modo, el proceso vuelve al paso 120.

En el paso 121, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores.

40 En el paso 122, se detecta si la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles no es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión. Si la amplitud de la tensión en el lado de la línea no es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión, el proceso pasa al paso 123, de otro modo, el proceso vuelve al paso 122.

En el paso 123, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM discontinuo.

45 La conmutación atrás y adelante entre los dos modos de modulación no solamente puede suprimir el desplazamiento de potencial de punto medio sino también reducir la pérdida del conmutador.

50 Como se puede ver a partir de la descripción anterior con respecto a (2), en la realización, en el caso de detectar que el problema del desplazamiento de potencial de punto medio está ocurriendo en el inversor fotovoltaico de tres niveles, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores. En el modo SVPWM de 13 vectores, se descartan los vectores cortos que de otro modo causarían el desplazamiento de potencial de punto medio y, de este modo, el desplazamiento de potencial de punto medio se suprime de manera eficaz.

Se debería observar que, considerando que las pérdidas de conmutador se reducen en el modo SVPWM discontinuo, con el fin de realizar un efecto óptimo, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles inicial se establece en el modo SVPWM discontinuo. Es decir, antes del paso 101, el

modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se establece en el modo SVPWM discontinuo.

5 En base al método de modulación de ancho de pulsos anterior para el inversor fotovoltaico de tres niveles, la presente solicitud proporciona un modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles. Con referencia a la Figura 13, el modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles incluye una unidad de detección 100 y una unidad de conmutación 200.

Todavía con referencia a la Figura 13, la unidad de detección 100 está configurada para detectar si existen riesgos de seguridad potenciales en el inversor fotovoltaico de tres niveles.

10 La unidad de conmutación 200 está conectada a la unidad de detección 100, y está configurada para conmutar un modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar que existen riesgos de seguridad potenciales en el inversor fotovoltaico de tres niveles. El modo SVPWM de 13 vectores es un modo SVPWM en el que se descartan 12 cortos de 27 vectores de estado de encendido-apagado del inversor fotovoltaico de tres niveles y solamente se reservan 6 vectores largos, 6 vectores medios y 3 vectores cero.

15 Todavía con referencia a la Figura 13, la unidad de detección 100 incluye una primera unidad de detección 101 configurada para detectar si un valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral. La unidad de conmutación 200 incluye una primera unidad de conmutación 201 configurada para conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral.

20 Todavía con referencia a la Figura 13, la unidad de detección 100 incluye una segunda unidad de detección 102 configurada para detectar si la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión. La unidad de conmutación 200 incluye una segunda unidad de conmutación 202 configurada para conmutar el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar que la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión.

25 En general, en la solicitud, en el caso de detectar que existen riesgos de seguridad potenciales en el inversor fotovoltaico de tres niveles, el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles se conmuta al modo SVPWM de 13 vectores. En el modo SVPWM de 13 vectores, se descartan los vectores cortos, que de otro modo causarían fallos o problemas anormales (tales como un desplazamiento de potencial de punto medio o una corriente de fuga en modo común excesivamente grande formada cuando una capacitancia parásita a tierra de un conjunto fotovoltaico es grande) en el inversor fotovoltaico de tres niveles y, de este modo, se resuelven de manera eficaz los problemas existentes en la tecnología convencional.

30 Las realizaciones de la presente invención se describen en la presente memoria de una manera progresiva, con el énfasis puesto en explicar la diferencia entre cada realización y las otras realizaciones; por lo tanto, para las mismas partes o similares entre las realizaciones, se pueden referir unas a otras. Para el modulador descrito en las realizaciones, las descripciones correspondientes son relativamente simples debido a que el modulador corresponde a los métodos descritos en las realizaciones. Las partes relevantes se pueden referir a la descripción de las partes del método.

35 La descripción anterior de las realizaciones descritas en la presente memoria permite a los expertos en la técnica implementar o usar la presente invención. Numerosas modificaciones a las realizaciones serán evidentes para los expertos en la técnica, y el principio general en la presente memoria se puede implementar en otras realizaciones sin desviación del alcance de las realizaciones de la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no se limitará a las realizaciones descritas en la presente memoria, sino según el alcance de las reivindicaciones.

45

REIVINDICACIONES

1. Un método de modulación de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles, que comprende:

detectar (601) si un valor eficaz de una corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un primer umbral;

5 conmutar (602) un modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo de modulación de ancho de pulsos de vector espacial, SVPWM, de 13 vectores en el caso de detectar que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral;

10 después de la conmutación (602) del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores, detectar (603) si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que un segundo umbral, en donde el segundo umbral no es mayor que el primer umbral; y

15 conmutar (604) el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo en el caso de detectar (603) que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que el segundo umbral,

20 en donde el modo SVPWM de 13 vectores es un modo SVPWM en el que se descartan 12 cortos de 27 vectores de estado de encendido-apagado del inversor fotovoltaico de tres niveles y solamente se reservan 6 vectores largos, 6 vectores medios y 3 vectores cero, y en donde el modo SVPWM discontinuo es un modo SVPWM en el que el inversor fotovoltaico de tres niveles mantiene que una cierta fase del conmutador de potencia no actúe dentro de un ciclo de conmutación y las otras dos fases de los conmutadores de potencia actúen dos veces dentro de un ciclo de conmutación.

25 2. El método según la reivindicación 1, en donde antes de la conmutación (602) del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar (601) que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, el método comprende además:

desencadenar que el inversor fotovoltaico de tres niveles se apague para su protección en caso de detectar que el valor de corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un tercer umbral.

30 3. El método según la reivindicación 1, en donde la detección (602) de que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, comprende detectar (120) que una amplitud de una tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que un umbral para un recorrido de baja tensión.

35 4. El método según la reivindicación 3, en el que después de la conmutación (121) del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores, el método comprende además:

conmutar (123) el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo en caso de detectar (122) que la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles no es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión.

5. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 4, en donde

40 el modo SVPWM discontinuo comprende un primer modo SVPWM discontinuo, un segundo modo SVPWM discontinuo, un tercer modo SVPWM discontinuo o un cuarto modo SVPWM discontinuo, en donde

en el primer modo SVPWM discontinuo,

45 cuando un vector espacial correspondiente a una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a un primer sector grande, una amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira a un segundo sector grande, una amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira a un tercer sector grande, una amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

50 cuando el vector espacial se gira a un cuarto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira a un quinto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y

cuando el vector espacial se gira a un sexto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

5 en el segundo modo SVPWM discontinuo,

cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a una segunda media región del primer sector grande o a una primera media región del segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

10 cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del segundo sector grande o a una primera media región del tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del tercer sector grande o a una primera media región del cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

15 cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del cuarto sector grande o a una primera media región del quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

20 cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del quinto sector grande o a una primera media región del sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y

cuando el vector espacial se gira a una segunda media región del sexto sector grande o a una primera media región del primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

en el tercer modo SVPWM discontinuo,

25 cuando el vector espacial correspondiente a una tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira al segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira al tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

30 cuando el vector espacial se gira al cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira al quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

35 cuando el vector espacial se gira al sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y

cuando el vector espacial se gira al primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$; y

en el cuarto modo SVPWM discontinuo,

40 cuando el vector espacial correspondiente a la tensión de salida instantánea del inversor fotovoltaico de tres niveles se gira a la primera media región del primer sector grande o a la segunda media región del segundo sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira a la primera media región del segundo sector grande o a la segunda media región del tercer sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

45 cuando el vector espacial se gira a la primera media región del tercer sector grande o a la segunda media región del cuarto sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$;

50 cuando el vector espacial se gira a la primera media región del cuarto sector grande o a la segunda media región del quinto sector grande, la amplitud de fase C del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$;

cuando el vector espacial se gira a la primera media región del quinto sector grande o a la segunda media región del sexto sector grande, la amplitud de fase B del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $-V_{dc}/2$; y

5 cuando el vector espacial se gira a la primera media región del sexto sector grande o a la segunda media región del primer sector grande, la amplitud de fase A del inversor fotovoltaico de tres niveles se afianza siempre a $V_{dc}/2$,

en donde V_{dc} es una tensión de entrada de corriente continua del inversor fotovoltaico de tres niveles.

6. El método según la reivindicación 1, en donde antes de la conmutación (602) del modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar (601) que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral, el método comprende además:

establecer el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo.

7. Un modulador de ancho de pulsos para un inversor fotovoltaico de tres niveles, que comprende una unidad de detección (100) y una unidad de conmutación (200) conectada a la unidad de detección (100), en donde la unidad de detección (100) comprende una primera unidad de detección (101), y la unidad de conmutación (200) comprende una primera unidad de conmutación (201), en donde:

la primera unidad de detección (101) está configurada para:

20 detectar (601) si un valor eficaz de una corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que un primer umbral; y

25 detectar (603) si el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que un segundo umbral, después de que la primera unidad de conmutación (201) conmute (602) el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo de modulación de ancho de pulsos de vector espacial, SVPWM, de 13 vectores, en donde el segundo umbral no es mayor que el primer umbral; y

la primera unidad de conmutación (201) está configurada para:

30 conmutar (602) el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de que la primera unidad de detección (101) detecte (601) que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles es mayor que el primer umbral; y

35 conmutar (604) el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles a un modo SVPWM discontinuo, en el caso de que la primera unidad de detección (101) detecte (602) que el valor eficaz de la corriente de fuga en modo común del inversor fotovoltaico de tres niveles no es mayor que el segundo umbral,

40 en donde el modo SVPWM de 13 vectores es un modo SVPWM en el que se descartan 12 cortos de 27 vectores de estado de encendido-apagado del inversor fotovoltaico de tres niveles y solamente se reservan 6 vectores largos, 6 vectores medios y 3 vectores cero, y en donde el modo SVPWM discontinuo es un modo SVPWM en el que el inversor fotovoltaico de tres niveles mantiene que una cierta fase del conmutador de potencia no actúe dentro de un ciclo de conmutación y las otras dos fases de los conmutadores de potencia actúen dos veces dentro de un ciclo de conmutación.

8. El modulador según la reivindicación 7, en donde

la unidad de detección (100) comprende además una segunda unidad de detección (102) configurada para detectar (110) si una amplitud de una tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que un umbral para un recorrido de baja tensión; y

45 la unidad de conmutación (200) comprende además una segunda unidad de conmutación (202) configurada para conmutar (111) el modo de modulación de ancho de pulsos del inversor fotovoltaico de tres niveles al modo SVPWM de 13 vectores en el caso de detectar (110) que la amplitud de la tensión en el lado de la línea del inversor fotovoltaico de tres niveles es menor que el umbral para el recorrido de baja tensión.

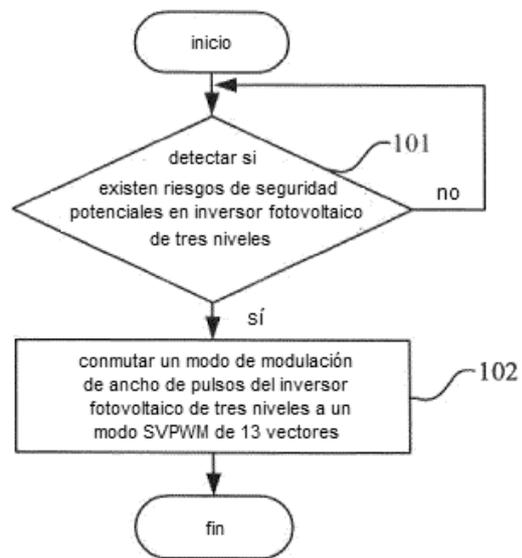


Figura 1

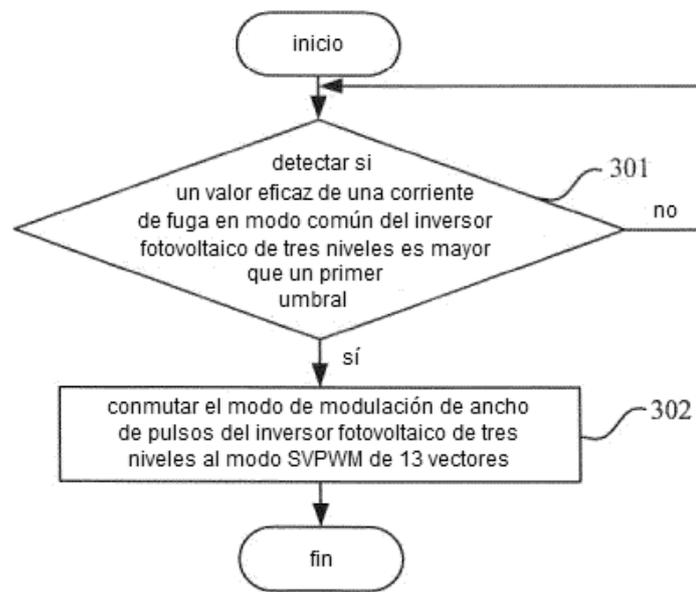


Figura 3

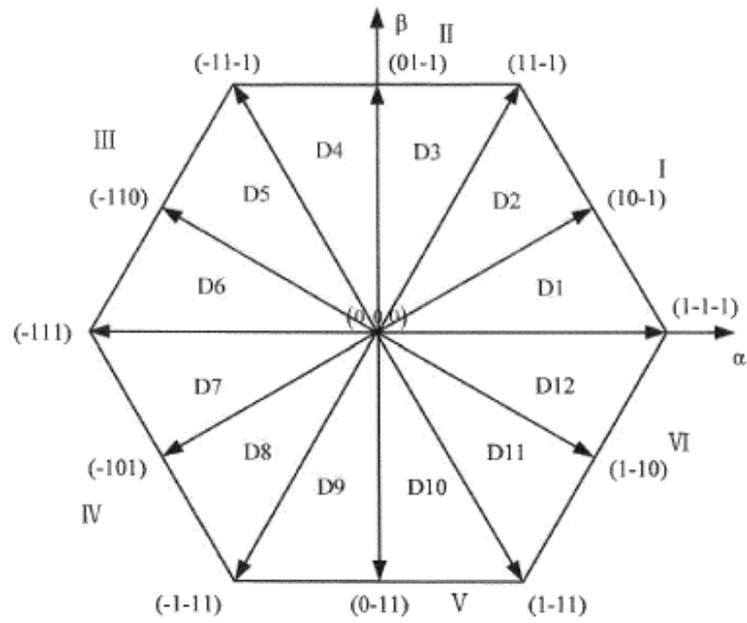


Figura 5

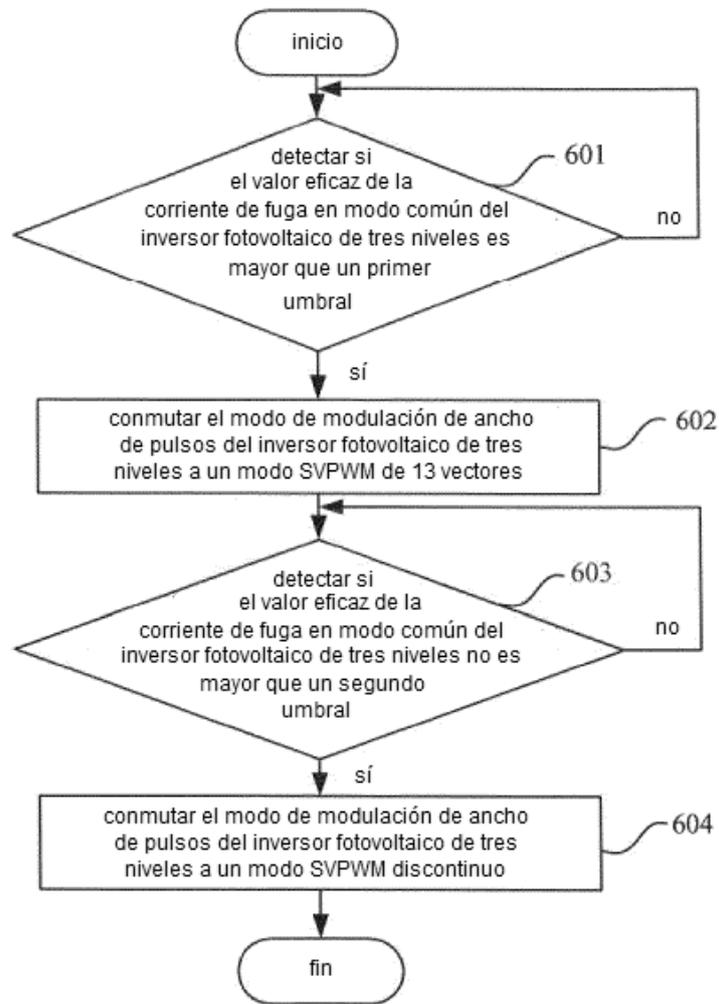


Figura 6

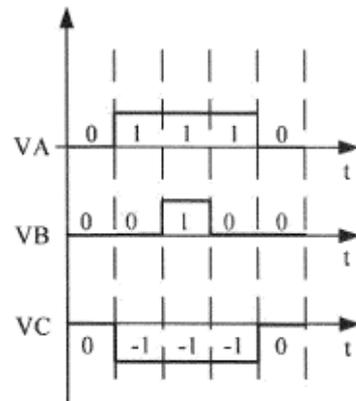


Figura 7

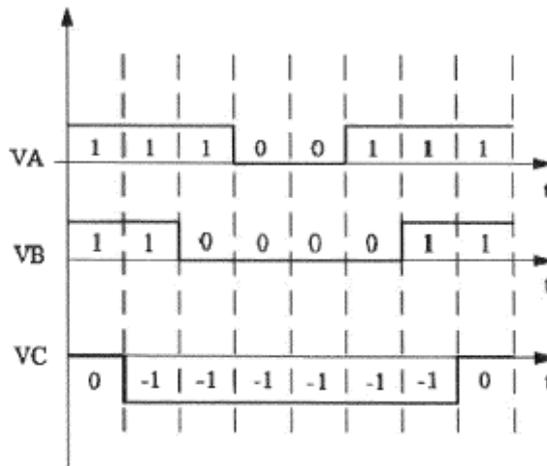


Figura 8

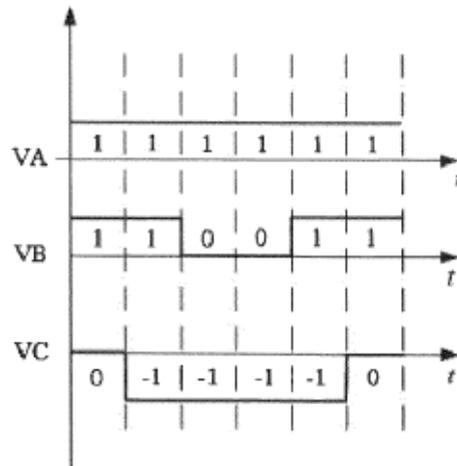


Figura 9

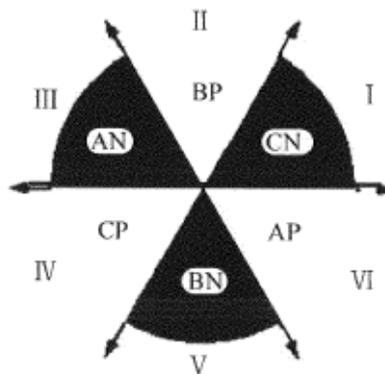


Figura 10a

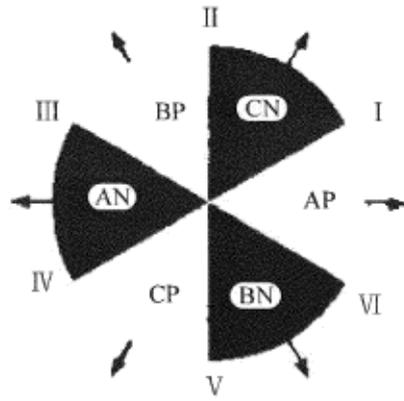


Figura 10b

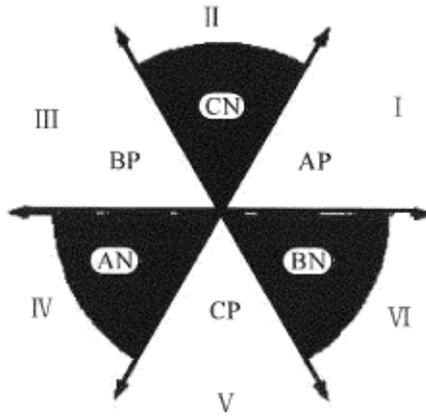


Figura 10c

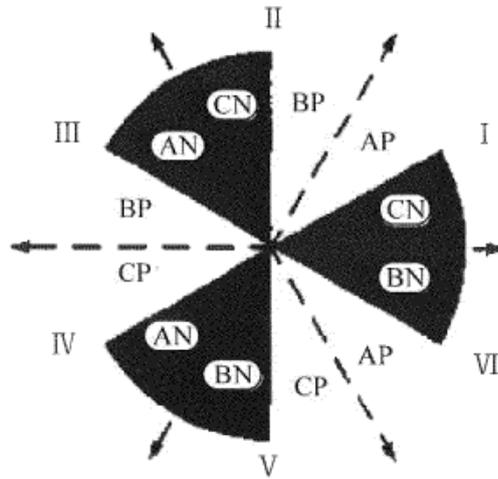


Figura 10d

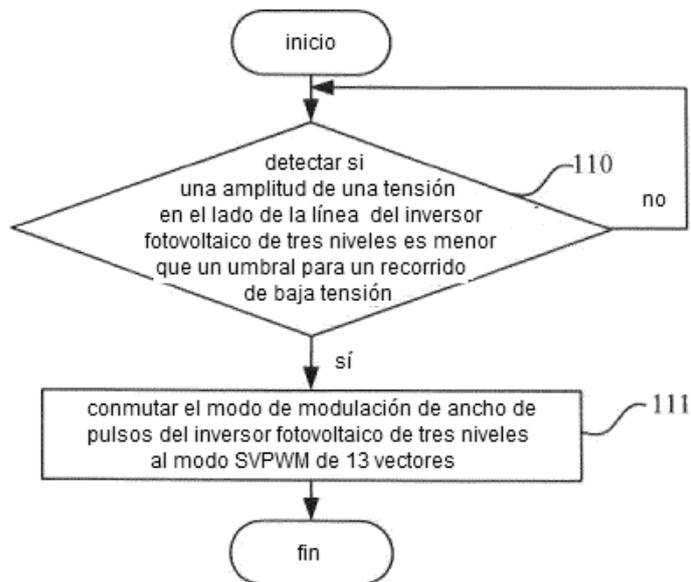


Figura 11

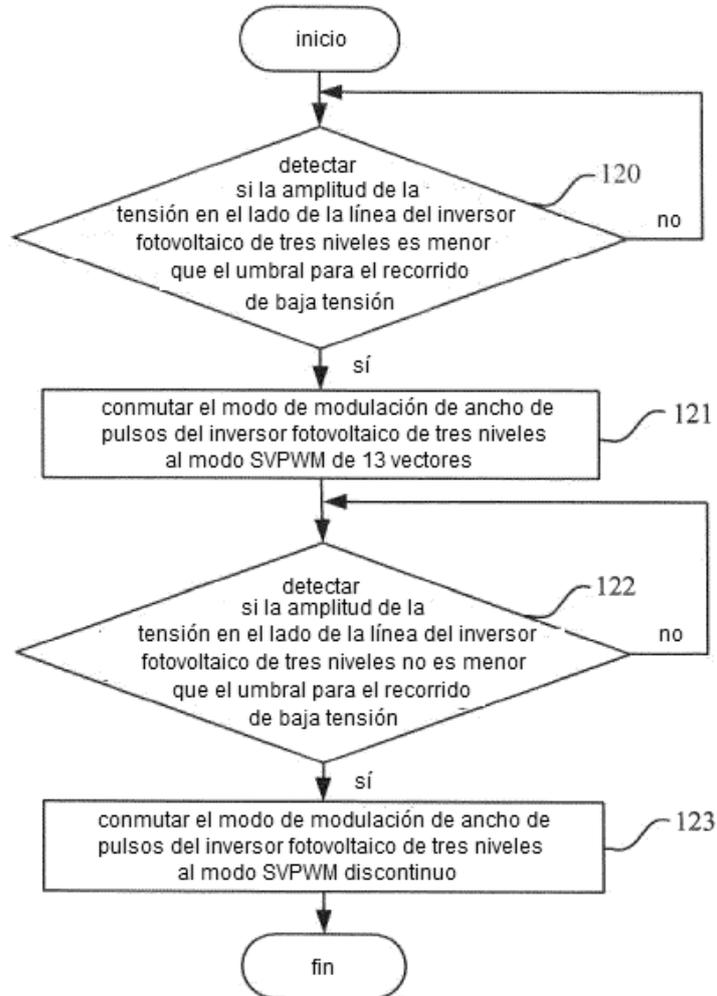


Figura 12

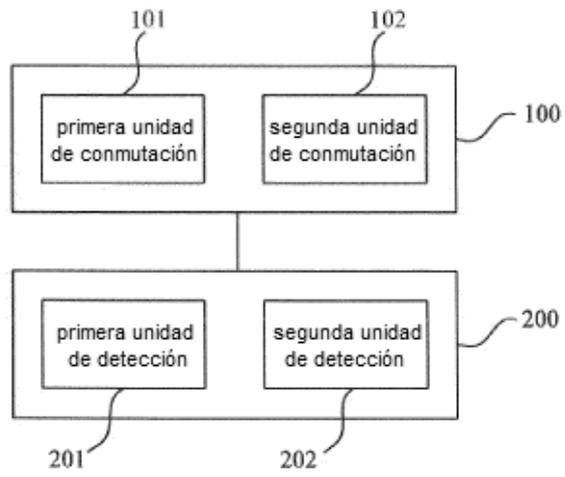


Figura 13