

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 378 865**

② Número de solicitud: 200902246

⑤ Int. Cl.:  
**H02M 7/483** (2007.01)  
**H02M 5/22** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **23.11.2009**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **18.04.2012**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**18.04.2012**

⑦ Solicitante/s: **Universitat Politècnica de Catalunya  
c/ Jordi Girona, 31  
08034 Barcelona, ES**

⑦ Inventor/es: **Busquets Monge, Sergio**

⑦ Agente/Representante:  
**No consta**

⑤ Título: **Convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles y método de control.**

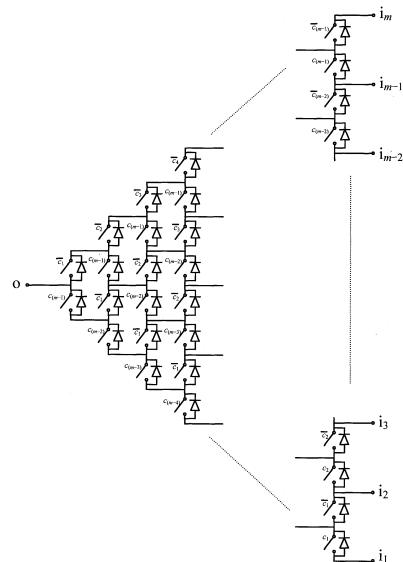
⑤ Resumen:

Convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles y método de control.

Se presenta una topología de convertidor estático de energía eléctrica de cuatro o más niveles. La topología está formada por una estructura piramidal de celdas elementales. Cada celda elemental está formada por dos dispositivos elementales. Cada dispositivo elemental está formado por un interruptor electrónico controlado y un diodo en antiparalelo.

Se definen los estados de conmutación del convertidor que permiten el control del mismo, así como una estrategia de transición entre estados de conmutación.

El convertidor y control propuesto son aplicables en accionamientos de motores eléctricos de corriente alterna, sistemas de aprovechamiento de energías renovables, equipos de tracción eléctrica, sistemas de alimentación, etc.



**DESCRIPCIÓN**

Convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles y método de control.

**5 Sector de la técnica**

Hardware electrónico para sistemas eléctricos y electrónicos de potencia.

**10 Estado de la técnica**

Las técnicas de conversión multinivel han abierto una puerta a avances en la tecnología de conversión de energía eléctrica. Para una tecnología concreta de semiconductores, estas técnicas permiten una mayor capacidad de potencia por convertidor, mayor eficiencia y menor distorsión armónica. Se han propuesto diferentes topologías multinivel:

- 15 - Convertidores multinivel puente completo en cascada (“cascaded H-bridge”).
- Convertidores multinivel de enclavamiento por diodos (“diode clamped”).
- 20 - Convertidores multinivel de enclavamiento por condensadores o de condensadores flotantes (“capacitor clamped” o “flying capacitors”).
- Combinaciones híbridas de los anteriores.

25 En particular, se ha propuesto una topología general en:

F. Z. Peng, “A generalized multilevel inverter topology with self voltage balancing”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 37, pp. 611-618, 2001.

30 Esta topología incluye condensadores flotantes, interruptores electrónicos controlados y diodos en antiparalelo.

35 La topología contemplada en la presente invención incorpora únicamente interruptores electrónicos controlados y diodos en antiparalelo. No se incorporan condensadores flotantes, hecho que modifica sustancialmente el control y las características de funcionamiento del convertidor.

40 En la literatura aparece el caso particular de tres niveles de la topología objeto de la presente invención, pero no se ha presentado su extensión a más niveles, y el control del convertidor propuesto en la literatura difiere del descrito aquí.

**Descripción de la invención**

45 Se definen la topología de un convertidor de energía eléctrica multinivel de enclavamiento activo, los estados de conmutación necesarios para su control y una estrategia de transición entre estos estados de conmutación.

*Topología*

50 La Figura 1 presenta la topología de un convertidor de  $m$  niveles. El circuito presenta  $m$  terminales de entrada ( $i_k$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ) y un terminal de salida (o). El número de niveles del convertidor se corresponde con el número de terminales de entrada. Entre dos terminales de entrada consecutivos ( $i_k$  e  $i_{k+1}$ ) típicamente se conecta un elemento capacitivo (condensador) o una fuente de tensión (fuente de alimentación, batería, etc.), de forma que la tensión del terminal  $i_k$  es inferior o igual a la tensión del terminal  $i_{k+1}$ .

60 El circuito está formado por una conexión piramidal de  $m \cdot (m-1)/2$  celdas elementales. Cada celda elemental está formada por dos dispositivos elementales, tal como se muestra en la Figura 1. Cada dispositivo elemental está formado por un interruptor electrónico controlado (designados  $S_{pxy}$  y  $S_{nxy}$ ;  $x, y \in \{1, 2, \dots, m-1\}$ ) y un interruptor electrónico no controlado (diodo), conectados tal como se muestra en la Figura 1 (conexión antiparalelo).

65 El interruptor electrónico controlado puede ser unidireccional ( $i_s$  sólo puede ser mayor o igual que cero) o bidireccional ( $i_s$  puede ser mayor, igual o menor que cero) en corriente. El interruptor controlado puede ser unidireccional ( $v_s$  sólo puede ser mayor o igual que cero) o bidireccional ( $v_s$  puede ser mayor, igual o menor que cero) en tensión. El caso típico es que el interruptor controlado sea bidireccional en corriente y unidireccional en tensión.

## ES 2 378 865 A1

El interruptor electrónico controlado del dispositivo elemental presenta dos estados, de acuerdo con los dos posibles estados de su señal de control:

- a) Encendido: La tensión  $v_s$  en bornes del interruptor es aproximadamente cero.
- b) Apagado: La corriente  $i_s$  que circula por el interruptor es aproximadamente cero.

El dispositivo elemental, definido por el conjunto de interruptor controlado e interruptor no controlado, se puede realizar con un único transistor o se puede realizar con cualquier combinación de transistores y diodos (serie, paralelo, etc.) que efectivamente tenga la misma funcionalidad.

### Estados de conmutación

El terminal de salida (o) se puede conectar galvánicamente con una baja impedancia a cada uno de los terminales de entrada ( $i_k, k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ) controlando adecuadamente el estado de todos los interruptores electrónicos controlados. Se definen  $m-1$  variables de control ( $c_j, j \in \{1, 2, \dots, m-1\}$ ) para representar el estado de las señales de control de los interruptores electrónicos controlados. Cada interruptor controlado tiene asignada una variable de control ( $c_j$ ) o su valor complementario ( $\bar{c}_j$ ), tal como se indica en la Figura 2. Estas variables de control tienen dos valores posibles:

- a)  $c_j = 0$ , en cuyo caso todos los interruptores controlados con esta variable de control asociada están apagados y aquellos con el valor complementario asociado  $\bar{c}_j = 1$  están encendidos.
- b)  $c_j = 1$ , en cuyo caso todos los interruptores controlados con esta variable de control asociada están encendidos y aquellos con el valor complementario asociado  $\bar{c}_j = 0$  están apagados.

Para conectar el terminal de salida (o) al terminal de entrada  $i_k$ , se asignan los siguientes valores a las señales de control:

$$\begin{aligned} j < k : c_j &= 0 \\ j \geq k : c_j &= 1 \end{aligned} \tag{1}$$

De esta forma quedan definidos los  $m$  estados de conmutación que permiten conectar el terminal de salida a los  $m$  terminales de entrada. La siguiente tabla presenta un resumen de estos estados de conmutación:

Estado de conmutación	Conexión de o	$c_1$	$c_2$	$c_3$	...	$c_k$	...	$c_{m-1}$
1	$i_1$	1	1	1	...	1	...	1
2	$i_2$	0	1	1	...	1	...	1
3	$i_3$	0	0	1	...	1	...	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$k$	$i_k$	0	0	0	...	1	...	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$m$	$i_m$	0	0	0	...	0	...	0

En el estado de conmutación  $k$ , se encienden todos aquellos interruptores controlados que permiten conectar galvánicamente con una baja impedancia el terminal de entrada  $i_k$  con el terminal de salida (o) a través de  $m-1$  dispositivos elementales. Adicionalmente, se encienden otros interruptores controlados que permiten garantizar una tensión  $v_s$  de bloqueo en los interruptores controlados apagados igual a la diferencia de tensión entre terminales de entrada consecutivos.

### Transición entre estados de conmutación

Para realizar una transición entre dos estados de conmutación adyacentes (transición de un estado de conmutación  $k$  al inmediatamente superior  $(k+1)$  o inferior  $(k-1)$ ), es necesario cambiar el estado de  $m$  interruptores controlados. Se procede a apagar primero los interruptores a apagar y posteriormente se encienden los interruptores a encender. Sea  $k_i$  el estado de conmutación inicial y  $k_f$  el estado de conmutación final de la transición entre estados adyacentes.

Si  $(k_f - k_i) \cdot i_o > 0$  (donde  $i_o$  es la corriente del terminal de salida (Figura 1)), las pérdidas de energía de la transición se concentran en el primer dispositivo que se enciende. Si  $(k_f - k_i) \cdot i_o < 0$ , las pérdidas de energía de la transición se concentran en el último dispositivo que se apaga. Por lo tanto, se define una estrategia de transición entre estados de conmutación adyacentes, en la que en transiciones sucesivas se alterna el primer interruptor que se enciende entre los interruptores a encender y se alterna el último interruptor que se apaga entre los interruptores a apagar. De esta forma, se distribuyen entre todos los interruptores las pérdidas de energía de las sucesivas transiciones.

**Breve explicación de los dibujos**

Figura 1: Topología de un convertidor de enclavamiento activo de  $m$  niveles.

Figura 2: Topología de un convertidor de enclavamiento activo de  $m$  niveles, con indicación de la variable de control asignada a cada interruptor controlado.

Figura 3: Topología de un convertidor de enclavamiento activo de cinco niveles (una rama), en la que se emplean transistores tipo Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) de canal n y de enriquecimiento.

Figura 4: Topología de un convertidor de enclavamiento activo de cinco niveles (una rama), en la que se emplean transistores tipo MOSFET de canal n y de enriquecimiento, con indicación de la variable de control asignada a cada transistor.

Figura 5: Convertidor corriente continua-corriente continua (cc-cc) o corriente continua-corriente alterna (cc-ca) monofásico de cinco niveles, con cuatro fuentes de tensión y una rama.

Figura 6: Convertidor cc-cc de cinco niveles, con bus intermedio de cc formado por cuatro condensadores en serie y dos ramas.

Figura 7: Convertidor cc-cc o cc-ca monofásico de cinco niveles, con fuente de tensión conectada a cuatro condensadores en serie y dos ramas.

Figura 8: Convertidor cc-ca trifásico de cinco niveles, con fuente de tensión conectada a cuatro condensadores en serie y tres ramas.

**Modos de realización de la invención**

La presente invención se ilustra adicionalmente mediante el siguiente ejemplo, el cual no pretende ser limitativo de su alcance.

**Ejemplo 1**

*Convertidor de enclavamiento activo de cinco niveles con MOSFETs*

En la Figura 3 se muestra una rama de un convertidor de cinco niveles en la que se emplean transistores tipo Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) de canal n y de enriquecimiento. Los diodos que se muestran en la Figura 3 se pueden corresponder con el diodo parásito de este tipo de transistores o con diodos externos conectados en antiparalelo con los transistores MOSFET, tal como se indica en la Figura 3.

En la Figura 4 se indica la asignación de variables de control a cada transistor. La rama presenta los siguientes cinco estados de conmutación para permitir conectar el terminal de salida con cada uno de los cinco terminales de entrada:

Estado de conmutación	Conexión de o	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
1	$i_1$	1	1	1	1
2	$i_2$	0	1	1	1
3	$i_3$	0	0	1	1
4	$i_4$	0	0	0	1
5	$i_5$	0	0	0	0

## ES 2 378 865 A1

La transición entre estados de conmutación adyacentes se efectúa apagando primero los transistores a apagar y encendiendo posteriormente los transistores a encender. Adicionalmente, en transiciones sucesivas de un estado de conmutación a otro, se alterna el transistor a apagar en último lugar y el transistor a encender en primer lugar. Por ejemplo, en la transición del estado de conmutación 2 al estado de conmutación 3, los transistores  $S_{n21}$  y  $S_{n22}$  se tienen que apagar y los transistores  $S_{p21}$ ,  $S_{p22}$  y  $S_{p23}$  se tienen que encender. Se procedería de la siguiente forma:

a) Secuencia de transistores a apagar en último lugar en sucesivas transiciones del estado de conmutación 2 al estado de conmutación 3:

a.1) En la primera transición, el transistor que se apaga en último lugar es  $S_{n21}$ .

a.2) En la segunda transición, el transistor que se apaga en último lugar es  $S_{n22}$ .

a.3) En transiciones posteriores se repite el ciclo definido por a.1 y a.2.

b) Secuencia de transistores a encender en primer lugar en sucesivas transiciones del estado de conmutación 2 al estado de conmutación 3:

b.1) En la primera transición, el transistor que se enciende en primer lugar es  $S_{p21}$ .

b.2) En la segunda transición, el transistor que se enciende en primer lugar es  $S_{p22}$ .

b.3) En la tercera transición, el transistor que se enciende en primer lugar es  $S_{p23}$ .

b.4) En transiciones posteriores se repite el ciclo definido por b.1, b.2, y b.3.

En la Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 se muestran ejemplos de convertidores que se pueden realizar mediante el uso de la rama presentada en la Figura 3.

En la Figura 5 se presenta un convertidor corriente continua-corriente continua (cc-cc) o corriente continua-corriente alterna (cc-ca) monofásico, en el que se conectan fuentes de tensión entre cada pareja de terminales de entrada adyacentes de la rama. Estas fuentes de tensión representan sistemas que mantienen una tensión aproximadamente constante entre sus terminales como por ejemplo fuentes de alimentación, baterías o paneles fotovoltaicos con un condensador conectado entre su terminal positivo y negativo. En el terminal de salida se conecta un filtro y una carga representados por un conjunto inductancia ( $L_F$ ), capacidad ( $C_F$ ) y resistencia ( $R_L$ ).

En la Figura 6 se presenta un convertidor cc-cc con dos ramas, en el que se conectan elementos capacitivos entre cada pareja de terminales de entrada adyacentes de cada rama. La fuente de tensión de valor  $V_{cc}$  se conecta a través de una inductancia ( $L_{Fa}$ ) al terminal de salida de la primera rama. El terminal de salida de la segunda rama se conecta a un filtro y una carga representados por un conjunto inductancia ( $L_{Fb}$ ), capacidad ( $C_F$ ) y resistencia ( $R_L$ ).

En la Figura 7 se presenta un convertidor cc-cc o cc-ca monofásico con dos ramas, en el que se conectan elementos capacitivos entre cada pareja de terminales de entrada adyacentes de cada rama. Una fuente de tensión de valor  $V_{cc}$  se conecta entre los terminales de entrada  $i_1$  e  $i_5$ . Los terminales de salida de las ramas se conectan a un filtro y una carga representados por un conjunto inductancia ( $L_F$ ), capacidad ( $C_F$ ) y resistencia ( $R_L$ ).

En la Figura 8 se presenta un convertidor cc-ca trifásico con tres ramas, en el que se conectan elementos capacitivos entre cada pareja de terminales de entrada adyacentes de cada rama. Una fuente de tensión de valor  $V_{cc}$  se conecta entre los terminales de entrada  $i_1$  e  $i_5$ . Los terminales de salida de las ramas se conectan a un filtro y una carga trifásicas representados por un conjunto inductancia ( $L_F$ ) y resistencia ( $R_L$ ) en serie por fase.

REIVINDICACIONES

5 1. Un convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles, **caracterizado** por estar constituido por una estructura piramidal de  $m \cdot (m-1)/2$  celdas elementales, con un terminal de salida y  $m$  terminales de entrada, siendo  $m$  el número de niveles; cada celda elemental está constituida por dos dispositivos elementales; cada dispositivo elemental está constituido por medios para interrumpir la corriente de forma controlada y medios para interrumpir la corriente de forma no controlada.

10 2. Un método de control del convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles de la reivindicación 1, **caracterizado** por que se definen  $m-1$  variables de control ( $c_j, j \in \{1, 2, \dots, m-1\}$ ) para representar el estado de las señales de control de los interruptores electrónicos controlados, con dos posibles valores, cero y uno, que indican que el interruptor correspondiente está apagado o encendido, respectivamente; la variable de control  $c_j$  se asigna a la diagonal de interruptores  $S_{n_j y}$ ,  $y \in \{1, 2, \dots, j\}$ , y su valor complementario ( $\bar{c}_j$ ) a la diagonal de interruptores  $S_{p_j y}$ ,  $y \in \{1, 2, \dots, m-j\}$ ; para conectar eléctricamente el terminal de salida (o) al terminal de entrada  $i_k$  ( $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ) se establece  $c_j = 0$  para todo  $j < k$  y se establece  $c_j = 1$  para todo  $j \geq k$ .

20 3. Un método de control de un convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles según reivindicación 2, **caracterizado** por que las sucesivas transiciones entre dos estados de conmutación adyacentes se efectúan alternando el último interruptor a apagar entre los interruptores a apagar.

25 4. Un método de control de un convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles según reivindicación 2, **caracterizado** por que las sucesivas transiciones entre dos estados de conmutación adyacentes se efectúan alternando el primer interruptor a encender entre los interruptores a encender.

30

35

40

45

50

55

60

65

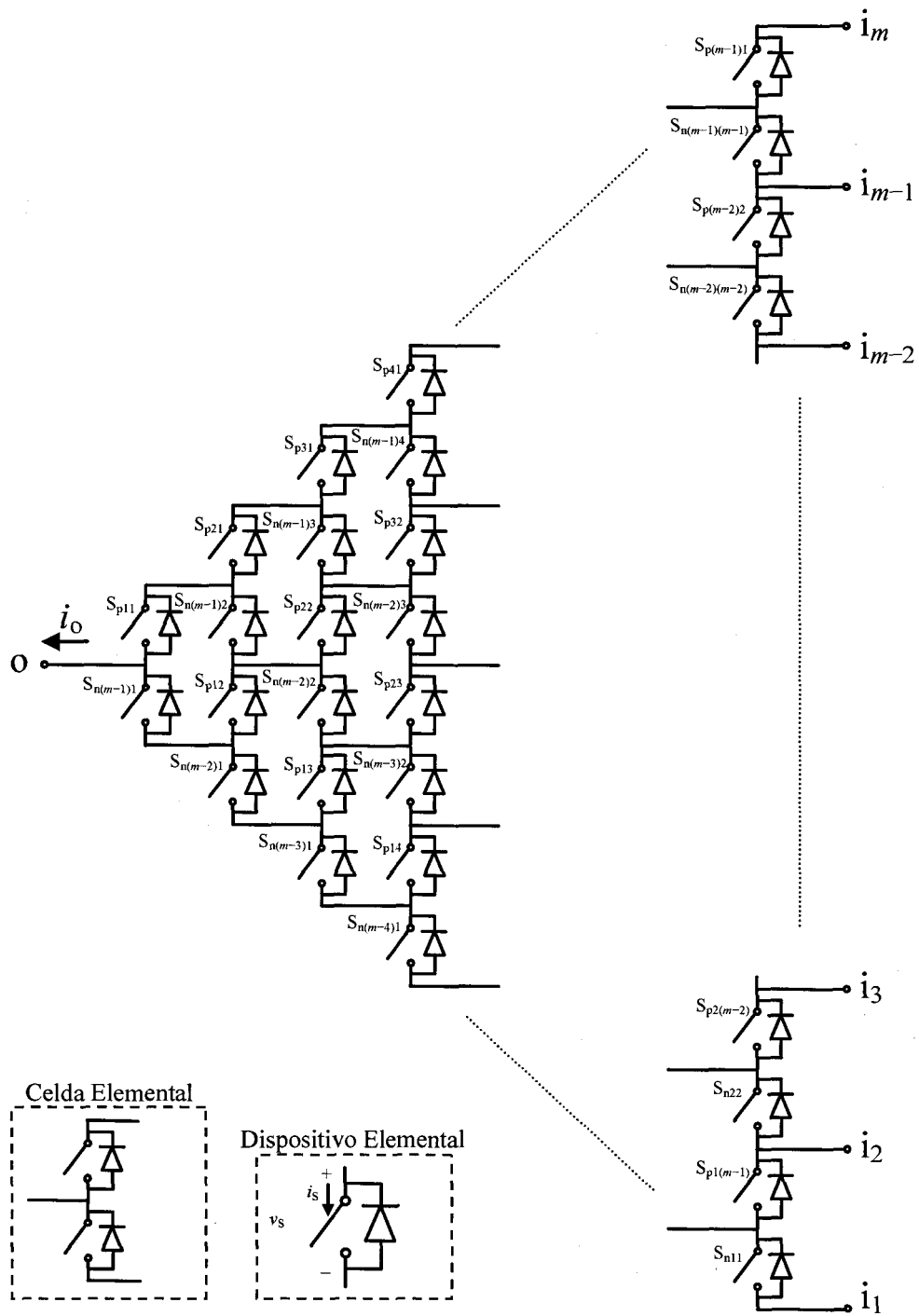


Figura 1

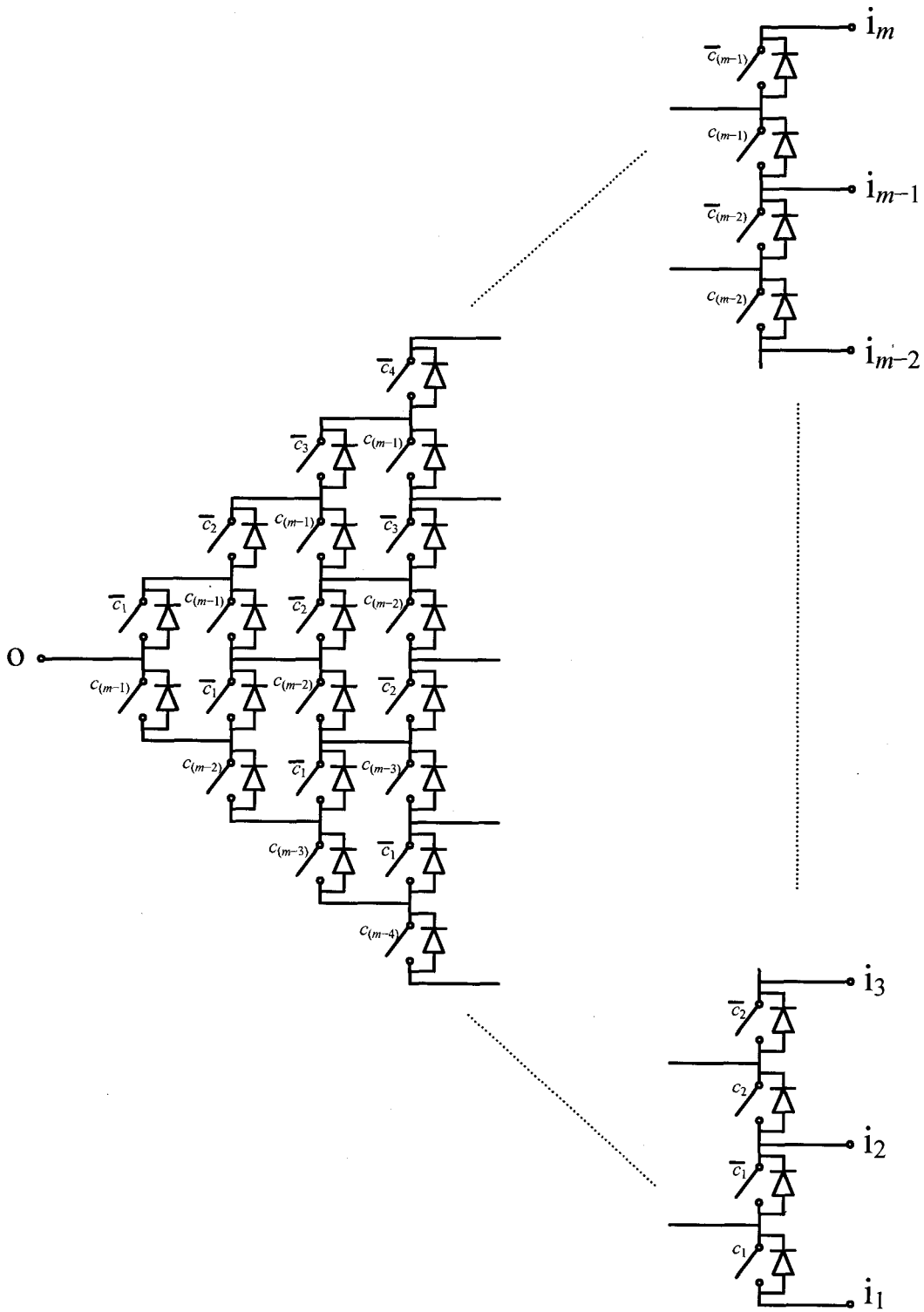


Figura 2

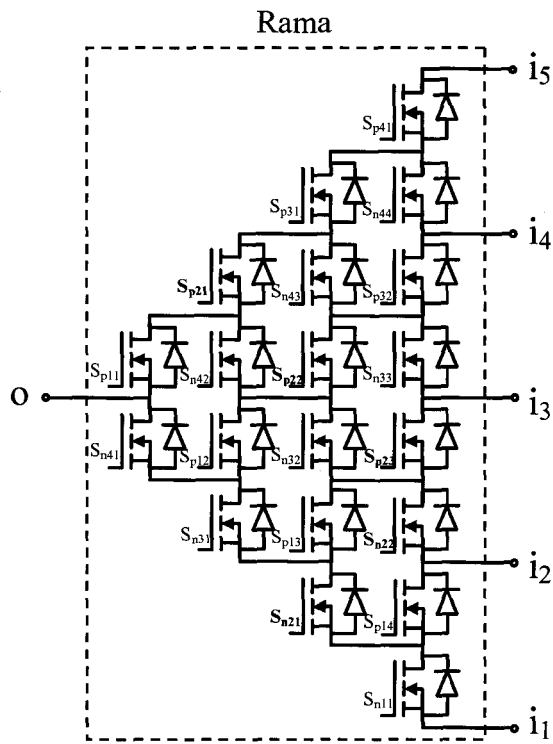


Figura 3

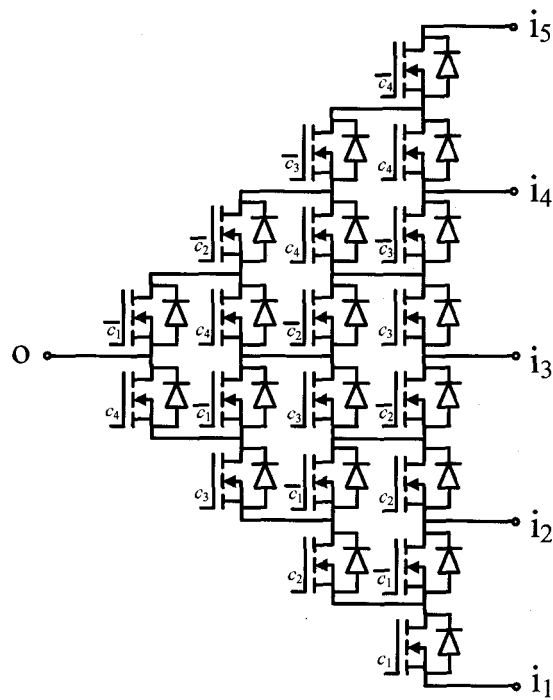


Figura 4

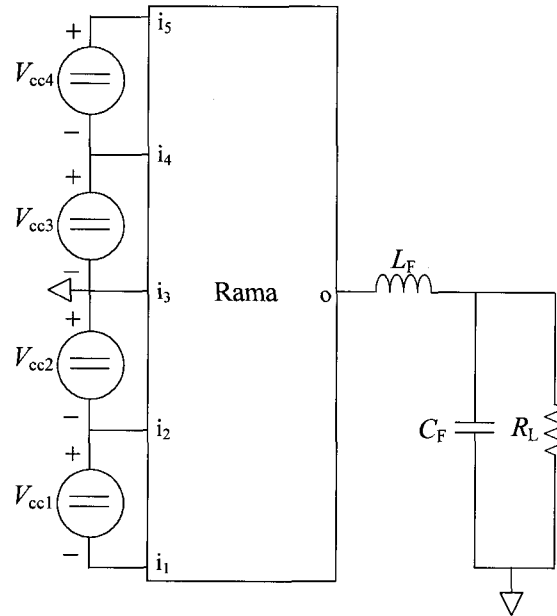


Figura 5

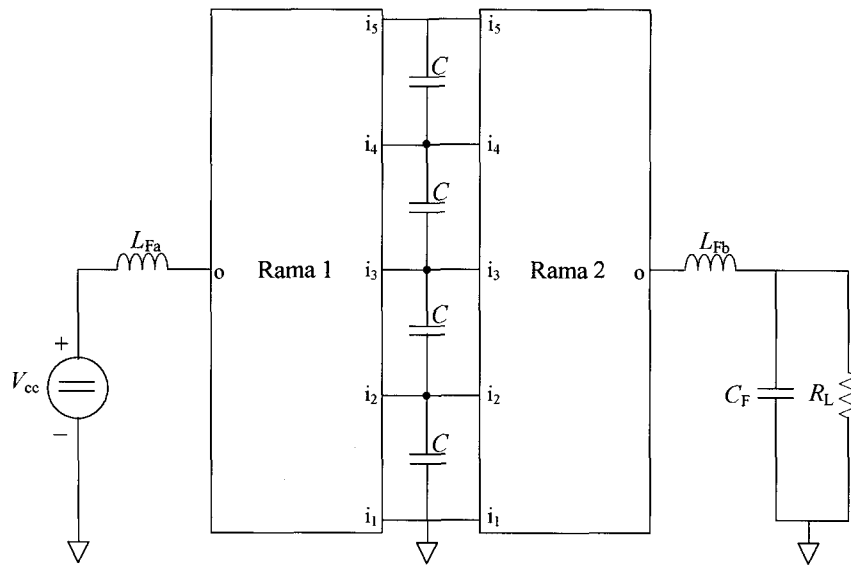


Figura 6

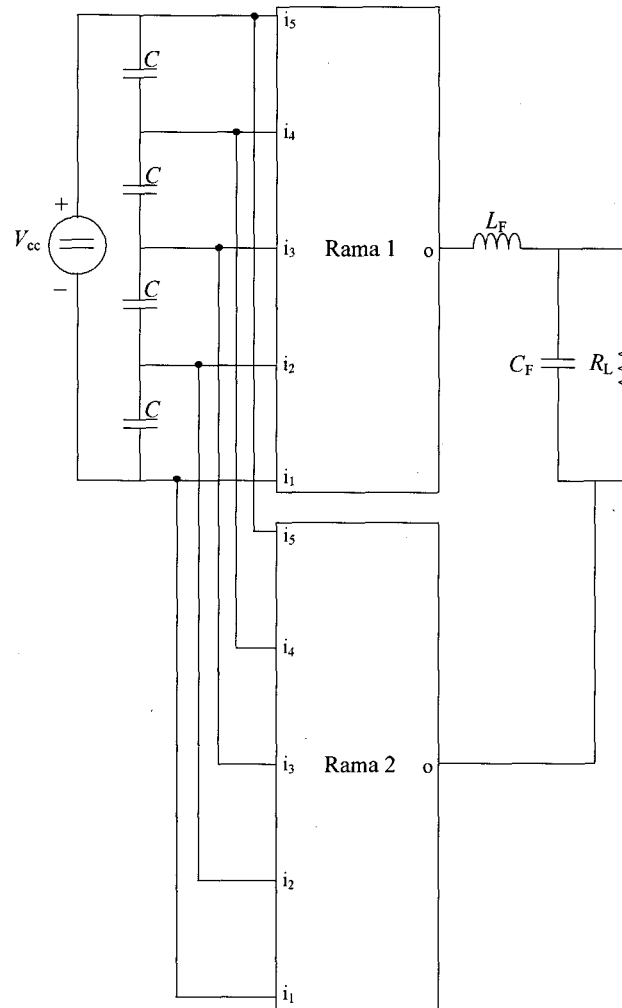


Figura 7

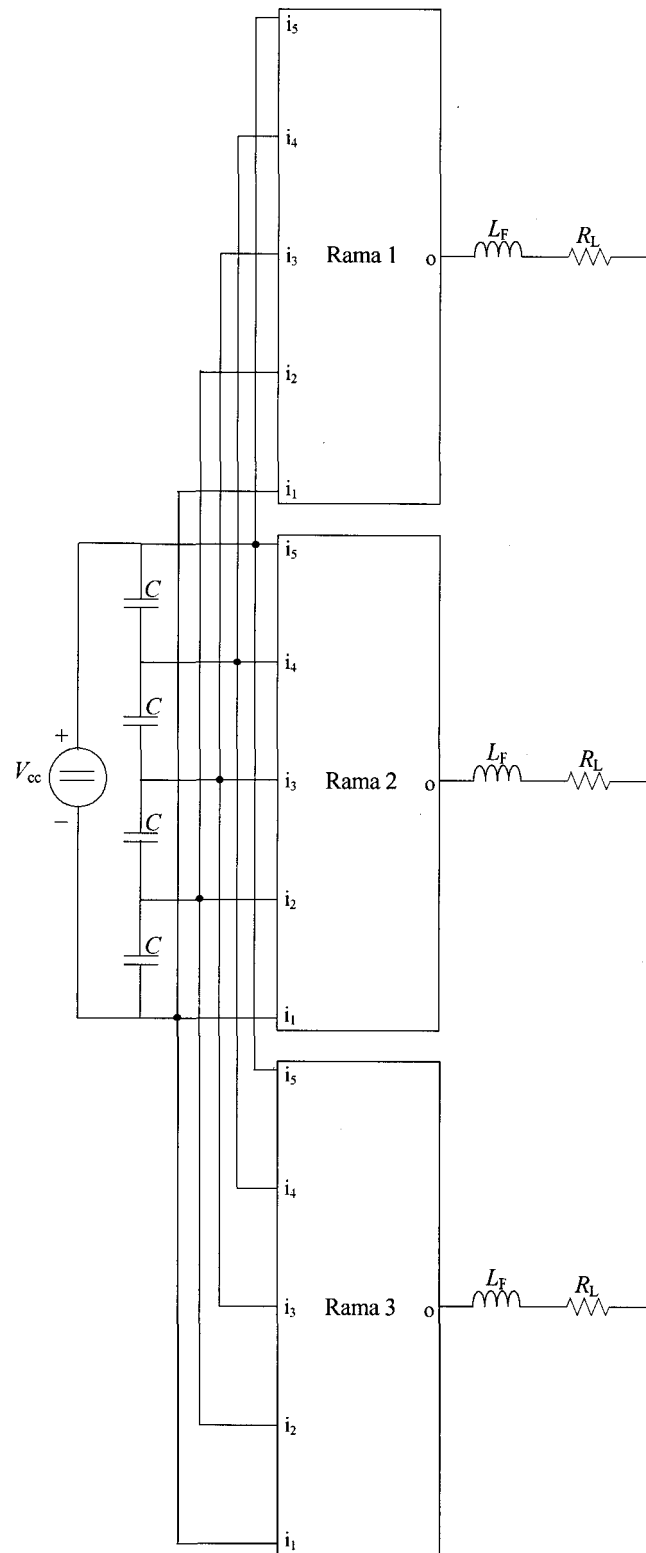


Figura 8



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200902246

②② Fecha de presentación de la solicitud: 23.11.2009

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H02M7/483** (2007.01)  
**H02M5/22** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y A	F.Z.PENG A generalized multilevel inverter topology with self voltage balancing. Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE 8-12 Octubre 2000, Vol. 3, páginas 2024-2031, ISBN 978-0-7803-6401-1, todo el documento.	1 2-4
Y A	EP 1443648 A1 (ABB RESEARCH LTD) 04.08.2004, figuras 1,2a; resumen.	1 2-4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
02.04.2012

Examinador  
M. Argüeso Montero

Página  
1/4

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

H02M

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

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 02.04.2012

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-4	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 2-4	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1	<b>NO</b>

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

**Base de la Opinión.-**

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

**1. Documentos considerados.-**

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

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	F.Z.PENG A generalized multilevel inverter topology with self voltage balancing. Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE 8-12 Octubre 2000, Vol. 3, páginas 2024-2031, ISBN 978-0-7803-6401-1, todo el documento.	
D02	EP 1443648 A1 (ABB RESEARCH LTD)	04.08.2004

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración****- Reivindicación 1**

El documento D01 es el documento del estado de la técnica más próximo a la invención reivindicada.

En él se describe un convertidor de energía eléctrica de enclavamiento activo de cuatro o más niveles, caracterizado por estar constituido por una estructura piramidal de  $m(m-1)/2$  celdas elementales con un terminal de salida y  $m$  terminales de entrada, siendo  $m$  el número de niveles.

Cada celda elemental comprende dos dispositivos elementales y cada uno de ellos comprende medios para interrumpir la corriente de forma controlada y medios para interrumpir la corriente de forma no controlada.

No obstante, el convertidor del documento D01 incluye condensadores flotantes que no se incorporan en el dispositivo reivindicado.

Esta diferencia modifica el control y las características de funcionamiento del convertidor.

Por otro lado, el documento D02 se refiere a un inversor de tres niveles constituido por una estructura piramidal de celdas elementales con un terminal de salida y  $m$  terminales de entrada, siendo  $m$  el número de niveles. Cada celda elemental está constituida por dos dispositivos elementales y, cada uno de ellos, por medios para interrumpir la corriente de forma controlada y medios para interrumpir la corriente de forma no controlada.

A la vista del dispositivo del documento D02, el experto en la materia puede aplicarlo al dispositivo del documento D01, llegando a la invención reivindicada.

Por tanto, la combinación de los documentos D01 y D02 afecta a la actividad inventiva de la reivindicación 1 (art. 8 LP).

**- Reivindicaciones 2-4**

El documento D01 es el documento del estado de la técnica más próximo a la invención reivindicada.

El convertidor de energía eléctrica descrito en este documento, se controla mediante un método caracterizado por definir variables de control, que tienen dos posibles valores, cero y uno, que indican que el interruptor correspondiente está apagado o encendido, respectivamente. A cada uno de los interruptores correspondientes a una celda ( $S_{nj}$  y  $S_{pj}$ ) se le asigna valores complementarios de la variable de control, indicando que uno de ellos estará abierto y otro cerrado.

La diferencia con la invención reivindicada es que en el documento D01 no se indica explícitamente que  $c_j=0$  para todo  $j < k$  y  $c_j=1$  para todo  $j \geq k$ . Aunque el documento D01 sí que indica que existen diferentes alternativas para conectar eléctricamente el terminal de salida al terminal de entrada  $i_k$  no se especifica la elección del método reivindicado.

Tampoco el documento D02 describe un método como el reivindicado.

Es decir, ninguno de los documentos recuperados ni una combinación relevante de los mismos afecta a la novedad o a la actividad inventiva las reivindicaciones 2-4.