

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 127**

21 Número de solicitud: 201730311

51 Int. Cl.:

H02M 3/24

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

09.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.09.2018

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Parque Científico Universidad Carlos III Leganés
Tecnológico Avda. Gregorio Peces Barba, 1
28919 LEGANES (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**BARRADO BAUTISTA, Andrés;
LÓPEZ DEL MORAL HERNÁNDEZ, David;
SANZ GARCÍA, Clara Marina;
LÁZARO BLANCO, Antonio;
FERNÁNDEZ HERRERO, Cristina;
ZUMEL VAQUERO, Pablo;
RAGA ARROYO, María Del Carmen y
OLÍAS RUIZ, Emilio**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **Convertidor CC-CC reductor y elevador, método de conversión CC-CC, y planta fotovoltaica que incorpora dicho convertidor.**

57 Resumen:

Convertidor CC-CC reductor y elevador, método de conversión CC-CC, y planta fotovoltaica que incorpora dicho convertidor.

Convertidor (10) y método de conversión de corriente continua a corriente continua con capacidad de reducción y elevación de corriente, que incorpora un circuito de recuperación que aprovecha la energía almacenada en unas inductancias parásitas de un autotransformador (A), trasladándola a un condensador auxiliar (Cs), y parcialmente a la capacitancia de salida (Coss), al abrir un interruptor (S) de entrada. Se consigue así utilizar ventajosamente la energía parásita del autotransformador (A), consiguiendo optimizar el rendimiento, para aplicaciones sin necesidad de incorporar aislamientos galvánicos, además la topología y modo de funcionamiento favorece conseguir una respuesta dinámica rápida y conmutación suave. El convertidor y su método asociado pueden ser aplicados tanto a sistemas fotovoltaicos para conexión en serie de paneles como a dispositivos portátiles alimentados con baterías, LEDs, etc.

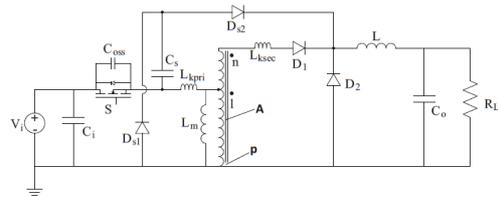


FIG. 2

DESCRIPCIÓN

Convertidor CC-CC reductor y elevador, método de conversión CC-CC, y planta fotovoltaica que incorpora dicho convertidor.

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere al campo de la conversión de energía eléctrica, y más concretamente a un convertidor CC-CC capaz de actuar como reductor y elevador de corriente.

10

Un objeto de la invención es el de proporcionar un método de conversión y un convertidor CC-CC elevador/reductor de pequeño tamaño, de elevada eficiencia y respuesta dinámica rápida, y compatible con arquitecturas DMPPT.

15

Antecedentes de la invención

La maximización de la energía obtenida en plantas fotovoltaicas es una tarea de vital importancia para el éxito de esta tecnología. Debido a la complejidad de los sistemas involucrados, así como a fenómenos impredecibles como sombras, polvo, diferencias de temperatura, etc, ocurren desajustes que reducen significativamente la cantidad de energía generada. Para mitigar este problema, pueden utilizarse arquitecturas con un convertidor por panel, también conocidas como seguimiento del punto de máxima potencia distribuido (DMPPT, del inglés 'Distributed Maximum Power Point Tracking'). Por ejemplo, US 2009/0284078 A1 presenta un ejemplo de planta fotovoltaica en el que se combinan estrategias DMPPT tanto a nivel local como centralizado. Las estructuras DMPPT aíslan los paneles entre sí, pero elevan el coste al utilizar un gran número de convertidores. Por lo tanto, para que esta solución sea viable, es necesario desarrollar convertidores de alta eficiencia y bajo coste.

20

25

30

Para alcanzar eficiencias elevadas, se han desarrollado convertidores de corriente continua (CC) a corriente continua que sólo gestionan una parte de la potencia de salida. Esto tipo de convertidores han sido denominados como convertidores de conexión en serie, de procesado paralelo de potencia (PPP, del inglés 'Parallel Power Processed') o de transferencia de energía directa (DET, del inglés 'Direct Energy Transfer'). Este tipo de topologías han llegado a alcanzar eficiencias del 97%, pero presentan limitaciones al

35

requerir voltajes de salida mayores que los voltajes de entrada. Es decir, únicamente pueden actuar como elevadores de tensión. Sin embargo, es deseable que los convertidores utilizados en los esquemas DMPPT tengan la capacidad de actuar tanto elevando como reduciendo la tensión. Esto permite aumentar la flexibilidad en cuanto al número de paneles en cada conjunto en serie (en inglés 'string'), simplificando el diseño de la planta.

Algunos convertidores CC-CC con capacidades de elevación y reducción han sido ya aplicados a las arquitecturas DMPPT, como es el caso de los convertidores reductor-elevador sin inversión (del inglés 'Non-Inverting Buck-Boost'). Por ejemplo, US 2014/0077870 A1 y US 7,518,346 B2 presentan diversas alternativas para la optimización de las estructuras buck-boost, bien a través de módulos de retroalimentación, bien a través de comparación de señales en rampa. Sin embargo, las soluciones de reductor-elevador sin inversión conocidas presentan limitaciones en cuanto a rendimiento y respuesta dinámica frente a soluciones con transformador.

La figura 1 muestra un convertidor conocido en el estado de la técnica, en particular del tipo reductor-elevador sin inversión. El convertidor convierte un voltaje de entrada (V_i) en un voltaje de salida (V_o) que se aplica sobre una carga (RL). Para ello cuenta con un condensador de entrada (C_i) y un condensador de salida (C_o), dos interruptores (S1 y S2), una bobina de salida (L) y dos diodos (D). Alternativamente, los diodos (D) pueden ser sustituidos por dos interruptores controlados. Este esquema permite tanto elevación como reducción de tensión, pero presenta inconvenientes en cuanto a tamaño, eficiencia y comportamiento, requiere más de un interruptor de potencia, por lo tanto más de un driver y una lógica de control que puede llegar a ser compleja.

Sigue existiendo por lo tanto en el estado de la técnica la necesidad de convertidores reductores-elevadores de pequeño tamaño que permitan optimizar la eficiencia, de bajo coste y la respuesta dinámica rápida, y que sean compatibles con arquitecturas DMPPT y otras aplicaciones (FPGAs, conjunto de puertas programables, del inglés Field Programmable Gate Array; DSPs, procesador digital de señales, del inglés Digital Signal Processor; etc).

Descripción de la invención

La presente invención soluciona los problemas anteriormente descritos mediante un esquema de conversión CC-CC que incorpora un circuito de recuperación capaz de

aprovechar la energía almacenada en las inductancias parásitas de un autotransformador, a la vez que se produce la desmagnetización de dicho autotransformador, además de conseguir conmutación suave en alguno de los interruptores. De esta manera, se consigue así implementar la capacidad de reducir y elevar tensión con una elevada eficiencia, buena
 5 respuesta dinámica, y sin requerir aislamiento galvánico. A pesar de incluir un autotransformador, dicho autotransformador no procesa toda la energía a transmitir, lo que permite disminuir su tamaño y mejorar el rendimiento global del convertidor.

En un primer aspecto de la invención se presenta un convertidor CC-CC con capacidad de
 10 reducción y elevación de tensión, que comprende:

- un puerto de entrada para conectarse a una fuente de corriente continua, y un puerto de salida para conectarse a una carga o, en implementaciones particulares, en serie con otros convertidores,
- un autotransformador (sin aislamiento galvánico) que tiene un devanado primario,
 15 con un primer terminal y un segundo terminal, un devanado secundario con un tercer terminal y el segundo terminal, donde el devanado primario está conectado con el puerto de entrada y el devanado secundario está conectado con el puerto de salida.
- un interruptor de entrada que está conectado entre el puerto de entrada y el devanado primario, para conectar y desconectar el puerto de entrada al primario del
 20 autotransformador. Por otro lado, una bobina de filtro de salida está conectada entre el devanado secundario y el puerto de salida.
- un circuito de recuperación de energía que comprende un condensador auxiliar conectado entre el primario y el secundario del autotransformador, de manera que al abrir el interruptor de entrada, el condensador auxiliar puede cargarse con energía
 25 parásita almacenada en las inductancias de dispersión del autotransformador, así como con la energía almacenada en la inductancia magnetizante del autotransformador, y entregar al menos parte de esa energía cargada en el condensador auxiliar a la carga.

El circuito de recuperación está adaptado para, cuando se abre el interruptor de entrada, recuperar la energía almacenada en unas inductancias de dispersión y magnetizante del autotransformador en dicho condensador auxiliar. De esta manera, la energía almacenada en dichas inductancias de dispersión y magnetizante, en lugar de suponer una pérdida de eficiencia, se utiliza para mejorar la operación del convertidor ya que dicha energía se envía
 30 hacia el filtro de salida del convertidor, y por lo tanto hacia la carga.

En algunas implementaciones preferentes, el circuito puede comprender una o más inductancias adicionales, en serie con el primario o el secundario del autotransformador, para modificar la respuesta natural de las inductancias de dispersión del autotransformador y asegurar la conmutación suave en los interruptores.

5

Preferentemente, el convertidor comprende los siguientes diodos para la transmisión de energía en las distintas etapas de operación:

10

- Un primer diodo con un ánodo conectado al condensador de entrada y al primer terminal del autotransformador y un cátodo conectado a un segundo extremo del condensador auxiliar.
- Un segundo diodo con un ánodo conectado al cátodo del primer diodo y un cátodo conectado a la bobina de salida.
- Un tercer diodo con un ánodo conectado al tercer terminal del autotransformador y un cátodo conectado a la bobina de salida.
- Un cuarto diodo con un ánodo conectado al primer terminal del autotransformador y un cátodo conectado a la bobina de salida.

15

En un segundo aspecto de la invención se presenta un método de conversión CC-CC con capacidad de reducción y elevación de tensión, que puede ser implementado mediante el convertidor del primer aspecto de la invención. El método comprende:

20

- Cuando el interruptor de entrada está cerrado: transferir energía de una entrada a una salida mediante un autotransformador. El autotransformador comprende un devanado primario y un devanado secundario; siendo preferentemente un autotransformador sin aislamiento galvánico, y pudiendo comprender inductancias adicionales conectadas a dicho autotransformador.
- Cuando el interruptor de entrada está abierto: descargar una energía almacenada en unas inductancias de dispersión del autotransformador (y en las bobinas adicionales que se pueden incluir en el primario) así como en la inductancia magnetizante del autotransformador hacia un condensador auxiliar. Para ello, dicho condensador auxiliar está conectado en uno de sus extremos al interruptor de entrada, así como al devanado primario, y al devanado secundario del autotransformador.

25

30

En particular, el método comprende la totalidad o un subconjunto de los siguientes pasos preferentes:

35

- Cuando se abre el interruptor de entrada, se traslada una energía almacenada en una inductancia de dispersión de un autotransformador a un condensador auxiliar y a

una capacitancia de salida de dicho interruptor de entrada a través de un primer diodo. Se consigue así un efecto de amortiguación ('snubber' en inglés), limitando el voltaje entre drenaje y fuente del interruptor de entrada, típicamente un Transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET, del inglés 'Metal-insulator-semiconductor field-effect transistor').

5

– A continuación, o bien coincidente con el paso anterior, se proporciona una energía almacenada en una inductancia de magnetización del autotransformador al condensador auxiliar y la capacitancia de salida del interruptor de entrada a través de una onda resonante.

10

– El condensador alcanza un voltaje máximo en el momento de paso por cero de la corriente que atraviesa la inductancia de magnetización. A partir de ese instante, se vuelve a almacenar energía en la inductancia de magnetización, si bien con una corriente en dirección opuesta.

15

– La energía almacenada en el condensador auxiliar se proporciona entonces a una carga a través de un segundo diodo. Nótese que la corriente a través de un cuarto diodo disminuye al aumentar la corriente a través del segundo diodo.

20

– Cuando el voltaje del condensador auxiliar iguala un voltaje de entrada, el voltaje aplicado al primer devanado del autotransformador es cero, y la corriente de la bobina de salida pasa a atravesar simultáneamente el tercer diodo y el cuarto diodo. Nótese que el método propuesto puede implementarse sin el cuarto diodo, en cuyo caso la función de dicho cuarto diodo quedaría asumida por el primer y el segundo diodos.

25

Nótese que cualquier opción preferente o implementación particular del convertidor de la invención puede ser aplicado igualmente al método de la invención. Asimismo, los elementos de dicho convertidor pueden ser adaptados o configurados para implementar cualquier paso del método de la invención, de acuerdo con cualquier implementación particular de ambos.

30

Finalmente, en un tercer aspecto de la invención se presenta una planta solar fotovoltaica que comprende una pluralidad de paneles solares agrupados en conjuntos o strings, estando los paneles dentro de un conjunto conectados en series, y los conjuntos conectados en paralelo entre sí. Cada panel está conectado a un convertidor según cualquiera de las opciones preferentes descritas en el primer aspecto de la invención, de modo que las conexiones en serie de cada conjunto se realizan a través de dichos convertidores. Esto permite obtener en cada momento la máxima energía disponible, consiguiendo un buen

35

rendimiento del sistema panel convertidor.

Además, el convertidor y método de conversión de la invención puede aplicarse ventajosamente a otras aplicaciones fuera de los sistemas fotovoltaicos, como por ejemplo la alimentación de sistemas portátiles tales como PDAs, móviles, tabletas, etc. las cuales se alimentan de una batería cuyo nivel de tensión varía en función del consumo o la recuperación de energía de la batería.

La evolución de la tensión en la batería hace que dicha tensión pueda ser mayor, igual o menor a la necesaria para el correcto funcionamiento de los circuitos que debe alimentar, por lo que se requiere de un convertidor que tenga capacidad reductora-elevadora, buen rendimiento, sencillo y con buenas prestaciones dinámicas.

En definitiva, el convertidor, método de conversión, y planta fotovoltaica descritos proporcionan las siguientes ventajas frente a las alternativas conocidas en el estado de la técnica:

- Capacidad para actuar como elevador y reductor de tensión.
- Alta eficiencia, gracias a que sólo una parte de la potencia de salida es procesada magnéticamente.
- Buen comportamiento dinámico.
- Sólo se requieren dos devanados en el autotransformador.
- La desmagnetización del autotransformador se realiza sin devanado de desmagnetización y sin incluir aislamiento galvánico.
- La inductancia de dispersión del autotransformador se utiliza como ventaja en lugar de como desventaja para obtener la condición de conmutación de corriente cero (ZCS, del inglés 'zero current switching'), lo cual permite aumentar la frecuencia de trabajo y reducir el tamaño de las bobinas y condensadores.
- La condición de ZCS se obtiene tanto en el tercer diodo como en el cuarto diodo, y tanto durante el semiperiodo de encendido como en el de apagado.
- La condición de ZCS se obtiene en el interruptor MOSFET, reduciendo la interferencia electromagnética (EMI, del inglés 'electromagnetic interference') resultante.
- La frecuencia operacional puede ser elevada consiguiendo la reducción de la inductancia de desmagnetización del autotransformador, y el tamaño de dicho autotransformador, del condensador y de la inductancia de filtrado.
- La corriente a través de la inductancia de desmagnetización está centrada, lo que

reduce el tamaño del autotransformador.

- La red de amortiguamiento (snubber) reduce su dependencia con la carga y no es disipativa.
- Sólo hay un interruptor activo, simplificando el disparo (driver) y reduciendo sus pérdidas asociadas.

5

Éstas y otras ventajas de la invención serán aparentes a la luz de la descripción detallada de la misma.

Descripción de las figuras

10

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

15

La Figura 1 muestra un esquema de convertidor con capacidad de reducción y elevación de tensión conocido en el estado de la técnica.

20

La Figura 2 presenta un esquema de un convertidor con circuito de recuperación de las energías de las inductancias de dispersión y magnetizante del autotransformador, de acuerdo con una realización preferente de la presente invención.

25

La Figura 3 ejemplifica un sistema fotovoltaico que incorpora convertidores de acuerdo con una realización preferente de la invención.

La Figura 4 ilustra un primer estado (tON) de una realización preferente del método de la invención, en el que el interruptor de entrada está cerrado.

30

La Figura 5 muestra un segundo estado (tOFF_1) de dicha realización preferente del método de la invención, en el que el interruptor de entrada está abierto.

La Figura 6 presenta un tercer estado (tOFF_2) de dicha realización preferente del método de la invención, en el que el interruptor de entrada está abierto.

35

La Figura 7 muestra un cuarto estado (tOFF_3) de dicha realización preferente del método de la invención, en el que el interruptor de entrada está abierto.

La Figura 8 presenta un quinto estado (tOFF_4) de dicha realización preferente del método de la invención, en el que el interruptor de entrada está abierto.

5 En las figuras 4 a 8, se indica con trazo de línea grueso las partes del circuito y componentes por las que circula corriente, y con trazo de línea fino las partes y componentes inactivos del circuito.

10 La Figura 9 ejemplifica las intensidades y voltajes de distintos elementos del convertidor de la invención durante los estados de dicha realización preferente del método de la invención.

Realización preferente de la invención

15 En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "comprendiendo", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

20 La figura 2 muestra una realización preferente del convertidor de la invención, que se caracteriza por incorporar un autotransformador (A) que, a diferencia de un transformador convencional, sólo dispone de un devanado dispuesto alrededor de un núcleo ferromagnético. El devanado se divide en un devanado primario y un devanado secundario, y tiene tres terminales de conexión de forma que el primario y el secundario comparten un terminal común. La transferencia de potencia entre primario y secundario del autotransformador, se produce por el acoplamiento magnético, y por la conexión galvánica a través de la toma común. Por esta razón, un autotransformador es más compacto que un transformador convencional.

30 Denominaremos primer terminal (p) y segundo terminal (l) a los terminales del devanado primario, y segundo terminal (l) y tercer terminal (n) a los terminales del devanado secundario, siendo por lo tanto el segundo terminal (l) el terminal común. Aparecen asimismo representadas las inductancias parásitas de dicho autotransformador (A), en concreto, la inductancia de magnetización (L_m), entre el primer terminal (p) y el segundo terminal (l), la inductancia de fuga (o dispersión) del devanado primario (L_{kpri}) asociada al segundo terminal (l) y la inductancia de fuga (o dispersión) del devanado secundario (L_{ksec}) asociada al tercer terminal (n). El autotransformador (A) actúa como un transformador convencional para elevar la tensión de entrada, pero resulta más compacto y económico,

transfiriendo la energía de la entrada a la salida, sin que para esta implementación toda la energía tenga que pasar por el núcleo ferromagnético.

5 Alternativamente, la inductancia de fuga (o dispersión) del devanado secundario (L_{ksec}) y la inductancia de fuga (o dispersión) del devanado primario (L_{kpri}), en lugar de representar inductancias parásitas del autotransformador (A), pueden incluir bobinas adicionales, es decir, bobinas externas al transformador, que pueden utilizarse para mejorar las transiciones.

10 El convertidor CC-CC propuesto presenta una topología que permite convertir la energía eléctrica posibilitando que la tensión a la salida pueda ser mayor, igual o menor a la tensión de entrada. Esta característica también está presente en otros convertidores del estado de la técnica, pero la respuesta dinámica de los convertidores conocidos únicamente es rápida cuando la topología presenta un transformador de aislamiento. En ese caso, toda la energía
15 debe ser procesada por el transformador. Si por el contrario, la topología no presenta transformador la respuesta dinámica del convertidor es lenta. La topología de la presente invención, a pesar de utilizar transformador, sólo procesa parte de la energía magnéticamente y no requiere aislamiento galvánico, por lo que combina alta eficiencia y respuesta dinámica, además de ser unidireccional.

20 En particular, el convertidor comprende un único interruptor (S), preferentemente implementado como un dispositivo electrónico de conmutación, por ejemplo un transistor MOSFET, y que en la figura aparece representado con su capacitancia de salida (C_{oss}). Dicho interruptor (S) está conectado en un extremo de un puerto de entrada, es decir al
25 voltaje de entrada (V_i) y en un segundo extremo al segundo terminal (I) del autotransformador (A). Como en el caso anterior, el condensador de entrada (C_i) está conectado en paralelo con ambos extremos del puerto de entrada o voltaje de entrada (V_i), mientras que el condensador de salida está conectado en paralelo con ambos extremos del puerto de salida, es decir con la carga (R_L).

30 Una bobina de salida (L) está conectada a un extremo de dicha carga (R_L). Adicionalmente, el convertidor comprende un condensador auxiliar (C_s) conectado en un terminal al segundo terminal (I) del autotransformador (A) y al interruptor (S). Dicho condensador auxiliar (C_s) permite recuperar la energía acumulada en las inductancias parásitas del autotransformador
35 (A), para devolverla posteriormente a la carga.

Finalmente, el convertidor comprende cuatro diodos:

- Un primer diodo (Ds1) con el ánodo conectado a tierra y al primer terminal (p) del autotransformador (A), y el cátodo conectado al condensador auxiliar (Cs) y al cátodo del segundo diodo (Ds2).
- 5 – Un segundo diodo (Ds2) con el ánodo conectado al condensador auxiliar (Cs) y al cátodo del primer diodo (Ds1), y el cátodo conectado a la bobina de salida (L) y a los cátodos del tercer diodo (D1) y del cuarto diodo (D2). El primer diodo (Ds1) y el segundo diodo (Ds2), junto con el condensador auxiliar (Cs), conforman el circuito de recuperación de las inductancias parásitas del autotransformador.
- 10 – Un tercer diodo (D1) con el ánodo conectado al tercer terminal del autotransformador (A) y el cátodo conectado a la bobina de salida (L) y a los cátodos del segundo diodo (Ds2) y del cuarto diodo (D2).
- Un cuarto diodo (D2) con el ánodo conectado a tierra y al primer terminal (p) del autotransformador (A), y el cátodo conectado a la bobina de salida (L) y a los
- 15 cátodos del segundo diodo (Ds2) y del tercer diodo (D1).

En realizaciones alternativas, uno o más de los diodos anteriormente mencionados se pueden implementar mediante transistores de potencia controlados mediante una lógica de control, proporcionando un circuito bidireccional.

20

La figura 3 ejemplifica un escenario de aplicación del convertidor de la invención, en una planta fotovoltaica (20), que comprende una pluralidad de paneles solares (30) en una arquitectura DMPPT, es decir, comprende una pluralidad de conjuntos (40) o strings, de modo que todos los conjuntos (40) están conectados en paralelo para proporcionar una potencia de salida a una tensión de salida (Vs), mientras que los paneles solares (30) de cada conjunto (40) están conectados en serie entre sí a través de los convertidores (10). Hay, por lo tanto, un convertidor (10) por cada panel solar (30), teniendo dichos convertidores (10) la topología descrita por cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención. Esta configuración, unida a las prestaciones individuales del convertidor (10), permiten adaptarse de manera dinámica y eficiente a distintas condiciones de irradiancia, temperatura, sombra, etc.

30

Las figuras 4 a 8 ilustran el funcionamiento de una realización preferente del convertidor y método de conversión de la invención, mostrando los caminos seguidos por la corriente tanto cuando el interruptor (S) está cerrado, estado al que denominaremos por simplicidad tON, como cuando está abierto, estado al que denominaremos tOFF. El estado tOFF se

35

divide asimismo en cuatro sub-estados consecutivos que denominaremos tOFF_1, tOFF_2, tOFF_3, y tOFF_4. Los estados tON y tOFF se alternan de acuerdo con un periodo de conmutación T. Nótese que las formas de onda de las tensiones e intensidades principales del dispositivo se muestran esquemáticamente y simplificadas en la figura 9 para ilustrar el funcionamiento del mismo, estas formas de ondas pueden variar dependiendo del valor de cada componente. En particular, VGS representa el voltaje entre puerta y fuente del interruptor (S), VD1 representa el voltaje en el tercer diodo (D1), VDS representa el voltaje entre drenaje y fuente del interruptor (S); e IL, IS, ID_{s1}, ID_{s2}, ID1, ID2 e IL_m representan las intensidades en la bobina de salida (L), el interruptor (S), el primer diodo (D_{s1}), el segundo diodo (D_{s2}), el tercer diodo (D1), el cuarto diodo (D2) y la inductancia de magnetización (L_m), respectivamente. Nótese que dichas representaciones esquemáticas deben ser entendidas únicamente con fines explicativos, pudiendo variar en cada caso la duración de cada estado o sub-estado, así como la amplitud o velocidad de cambio de las diversas formas de onda. En particular, el sub-estado tOFF_1 suele tener una duración mucho menor que el resto de sub-estados, mostrándose extendida en la figura para facilitar la explicación.

La figura 4 muestra el flujo de corriente durante el estado tON. El interruptor (S) se encuentra cerrado, por lo que se le está aplicando la tensión de entrada (V_i) al primario del autotransformador (A). En esta etapa se está transfiriendo energía desde la entrada a la salida por dos vías diferentes: mediante el acoplamiento magnético del autotransformador (A) y de forma directa. La transferencia directa es posible gracias a la conexión de interruptor (S) entre las tomas del autotransformador (A). Gracias a que parte de la energía se transfiere sin procesamiento magnético, se mejora la eficiencia y se puede optimizar el tamaño del autotransformador (A). Además, la posición del interruptor (S) respecto del autotransformador (A) es una de las razones por lo que esta topología puede proporcionar tensiones mayores y menores que la tensión de entrada. Se puede apreciar, que es en esta etapa en la que se están cargando los elementos inductivos del convertidor, es decir, la bobina de salida (L), la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}), la inductancia de fuga del devanado secundario (L_{ksec}) y la inductancia de magnetización (L_m).

La figura 5 muestra el flujo de corriente durante el estado tOFF_1. En el primer instante después de la apertura del interruptor (S), se modifica bruscamente el camino por el que circula la corriente de entrada. La inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}), en serie con el interruptor (S), fuerza a que la corriente siga fluyendo en el mismo sentido que lo hacía, hasta que entrega la energía que ha almacenado previamente. La energía almacenada por la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}) se carga entonces en

la capacitancia de salida (C_{oss}) del interruptor (S) y el condensador auxiliar (C_s), que se encuentran en paralelo en esta etapa, de modo que esa energía recuperada se podrá aprovechar más adelante. Esta transferencia de energía se realiza de forma resonante entre la capacidad equivalente y la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}), tal y como se aprecia en las formas de onda $ID1$, $ID2$, $IDs1$ y V_{ds} . Durante este estado la inductancia magnetizante también entrega energía al condensador auxiliar pero en una proporción, en general, despreciable frente a la entregada por la inductancia de dispersión.

La figura 6 muestra el flujo de corriente durante el estado t_{OFF_2} . Una vez que la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}) ha entregado casi toda su energía y la inductancia de fuga del devanado secundario (L_{ksec}) ha entregado toda la energía almacenada durante el estado t_{ON} , el tercer diodo ($D1$) deja de conducir, pasando a conducir únicamente el cuarto diodo ($D2$). Esto permite la libre circulación de la corriente almacenada en la bobina de salida (L) que circula por la carga (RL). La capacitancia de salida (C_{oss}) del interruptor (S) y el condensador auxiliar (C_s) continúan cargándose debido a la desmagnetización de la energía almacenada en la inductancia de magnetización (L_m) y el resto de energía que aún queda en la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}).

La transferencia de energía desde la inductancia de magnetización (L_m) y la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}) hacia los condensadores se realiza también de forma resonante, aunque en este caso la frecuencia de resonancia es mucho menor, debido a que el valor de la inductancia de magnetización (L_m) es muy superior al de la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}) y la inductancia de fuga del devanado secundario (L_{ksec}).

La figura 7 muestra el flujo de corriente durante el estado t_{OFF_3} . En el momento en el que la corriente que atraviesa la inductancia de magnetización (L_m) en serie con la inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}) pasa por cero amperios, se alcanza el máximo de tensión en el interruptor (S) y en el tercer diodo ($D1$). A partir de este momento la corriente por dicha inductancia de magnetización (L_m) comienza a circular en sentido inverso, cargándose de nuevo la inductancia de magnetización (L_m) con la energía que previamente habían almacenado la capacitancia de salida (C_{oss}) del interruptor (S) y el condensador auxiliar (C_s).

Nótese que, en esta etapa, parte de la energía que se había entregado al condensador auxiliar (C_s) se recupera o se reaprovecha transfiriéndose a la carga (RL) a través del

segundo diodo (Ds2). Esto se puede apreciar al comparar la corriente de la bobina de salida IL con la del cuarto diodo (D2), que actúa como diodo de libre circulación. Nótese asimismo que la parte que le falta a la corriente que circula por cuarto diodo (D2) es la que aporta el condensador auxiliar (Cs) a través del segundo diodo (Ds2).

5

Finalmente, la figura 8 muestra el flujo de corriente durante el estado tOFF_4. Una vez que la energía del condensador auxiliar (Cs) se ha descargado, la tensión del tercer diodo (D1) alcanza cero voltios y la tensión del interruptor (S) se iguala a la tensión de entrada, por lo que la tensión aplicada al primario del autotransformador (A) es de cero voltios. En este instante, el tercer diodo (D1) comienza a conducir una pequeña corriente, correspondiente a la corriente magnetizante del autotransformador (A), que permanece constante. Este estado permanece inalterado hasta que se vuelve a cerrar el interruptor (S), dándose por concluido un periodo de conmutación completo (T).

10

15

A la vista de las figuras, puede apreciarse que el método de conversión de la invención comprende :

- transferir energía entre un puerto de entrada y un puerto de salida a través de un autotransformador (A) que tiene un devanado primario y un devanado secundario,
- conectar y desconectar el puerto de entrada al primario del autotransformador (A),
- cuando se desconecta la entrada de corriente al primario del autotransformador (A), almacenar la energía de las inductancias parásitas del autotransformador (A) en un condensador auxiliar (Cs),
- y entregar en el puerto de salida, al menos parte de la energía almacenada en el condensador auxiliar (Cs).

20

25

El experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin salir del objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

30

REIVINDICACIONES

1.- Convertidor (1) de corriente continua a corriente continua, reductor y elevador, caracterizado por que comprende:

5 un puerto de entrada y un puerto de salida,

un autotransformador (A) que incorpora un devanado primario que tiene un primer terminal (p) y un segundo terminal (l), y un devanado secundario que tiene un tercer terminal (n) y el segundo terminal (l), donde el devanado primario está conectado con el puerto de entrada y el devanado secundario está conectado con el puerto de salida,

10 un interruptor (S) conectado entre el puerto de entrada y el devanado primario, para conectar y desconectar el puerto de entrada con el primario del autotransformador (A),

una bobina de salida (L) conectada entre el devanado secundario y el puerto de salida,

15 un circuito de recuperación de energía que comprende un condensador auxiliar (Cs) conectado entre el primario y el secundario del autotransformador (A),

de manera que al abrir el interruptor (S), el condensador auxiliar (Cs) puede cargarse con energía parásita almacenada en el autotransformador (A), y entregar al menos parte de esa energía cargada en el condensador auxiliar (Cs) por el puerto de salida.

20 2.- Convertidor (10) según la reivindicación 1 caracterizado porque el circuito de recuperación de energía comprende además un primer diodo (Ds1) y un segundo diodo (Ds2), donde el condensador auxiliar (Cs) tiene un primer terminal conectado con el interruptor (S) y con el segundo terminal (l) del autotransformador (A), y donde el ánodo del primer diodo (Ds1) está conectado con el primer terminal (p) del autotransformador (A) y su cátodo está conectado con un segundo terminal del condensador auxiliar (Cs), y donde el ánodo del segundo diodo (Ds2) está conectado con el segundo terminal del condensador auxiliar (Cs) y con el cátodo del primer diodo (Ds1), y donde el cátodo del segundo diodo (Ds2) está conectado con el puerto de salida a través de la bobina de salida (L).

30 3.- Convertidor (10) según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque además comprende un condensador de entrada (Ci) conectado en paralelo con el puerto de entrada, y un condensador de salida (Co) conectado en paralelo con el puerto de salida.

35 4.- Convertidor (10) según la reivindicación 3, caracterizado por que comprende además un tercer diodo (D1) con un ánodo conectado con el tercer terminal (n) del autotransformador (A) y un cátodo conectado con el cátodo del segundo diodo (Ds2).

5.- Convertidor (10) según la reivindicación 4, caracterizado por que comprende además un cuarto diodo (D2) con un ánodo conectado con el primer terminal (p) del autotransformador (A) y un cátodo conectado con los cátodos del tercer diodo (D1) y del segundo diodo (Ds2).

5 6.- Convertidor (10) según la reivindicación 5 caracterizado porque la bobina de salida (L) tiene un terminal conectado con los cátodos del primer, segundo y tercer diodo (D1), (D2) y (Ds2), y un segundo terminal conectado con un polo del puerto de salida.

10 7.- Convertidor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque el interruptor (S) es un dispositivo electrónico de conmutación.

8.- Método de conversión de corriente continua a corriente continua con capacidad de reducción y elevación, caracterizado por que comprende:

- 15
- transferir energía entre un puerto de entrada y un puerto de salida a través de un autotransformador (A) que tiene un devanado primario y un devanado secundario,
 - conectar y desconectar el puerto de entrada al primario del autotransformador (A),
 - cuando se desconecta la entrada de corriente al primario del autotransformador (A), almacenar la energía en las inductancias parásitas del autotransformador (A) en un condensador auxiliar (Cs),
 - 20 - y entregar en el puerto de salida, al menos parte de la energía almacenada en el condensador auxiliar (Cs).

25 9.- Método de acuerdo con la reivindicación 8 caracterizado por que el almacenamiento de energía de las inductancias parásitas del autotransformador (A) en el condensador auxiliar (Cs) comprende:

- almacenar una energía de una inductancia de fuga del devanado primario (L_{kpri}) del autotransformador (A) en el condensador auxiliar (Cs), almacenar una energía de una inductancia de magnetización (L_m) del autotransformador (A) en el condensador auxiliar (Cs), y
- 30 - entregar la energía almacenada en el condensador auxiliar (Cs) a una carga (RL) a través de una bobina de salida (L).

35 10.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 y 9 caracterizado por que comprende además entregar toda la energía en la inductancia de magnetización (L_m) al alcanzar el condensador auxiliar (Cs) un voltaje máximo.

11.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10 caracterizado por que comprende además, cuando un voltaje del condensador auxiliar (Cs) iguala un voltaje de entrada (Vi), atravesar un tercer diodo (D1) y un cuarto diodo (D2) con una corriente de la bobina de salida (L).

5

12.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11 caracterizado por que comprende además reducir una corriente a través del cuarto diodo (D2) al aumentar una corriente a través del segundo diodo (Ds2).

10

13.- Planta solar fotovoltaica (20) que comprende una pluralidad de paneles solares (30) agrupados en conjuntos (40) conectados en paralelo, caracterizado por que cada panel está conectado al menos a un convertidor (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, y estando la pluralidad de paneles solares (30) de cada conjunto (40) conectados en serie a través de dichos convertidores (10).

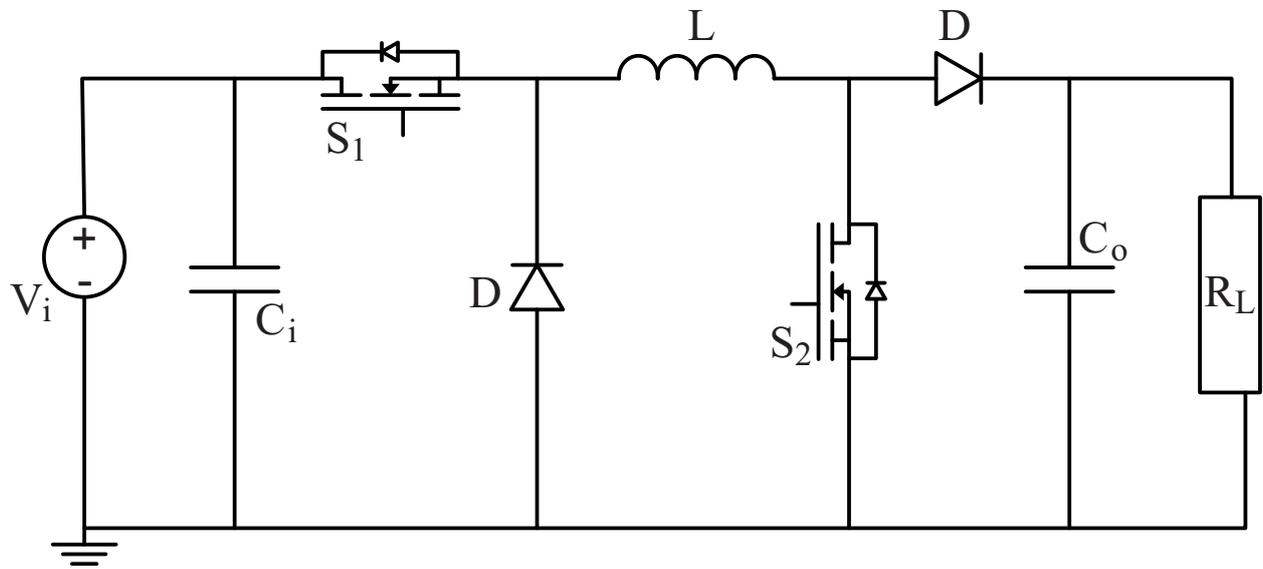


FIG. 1

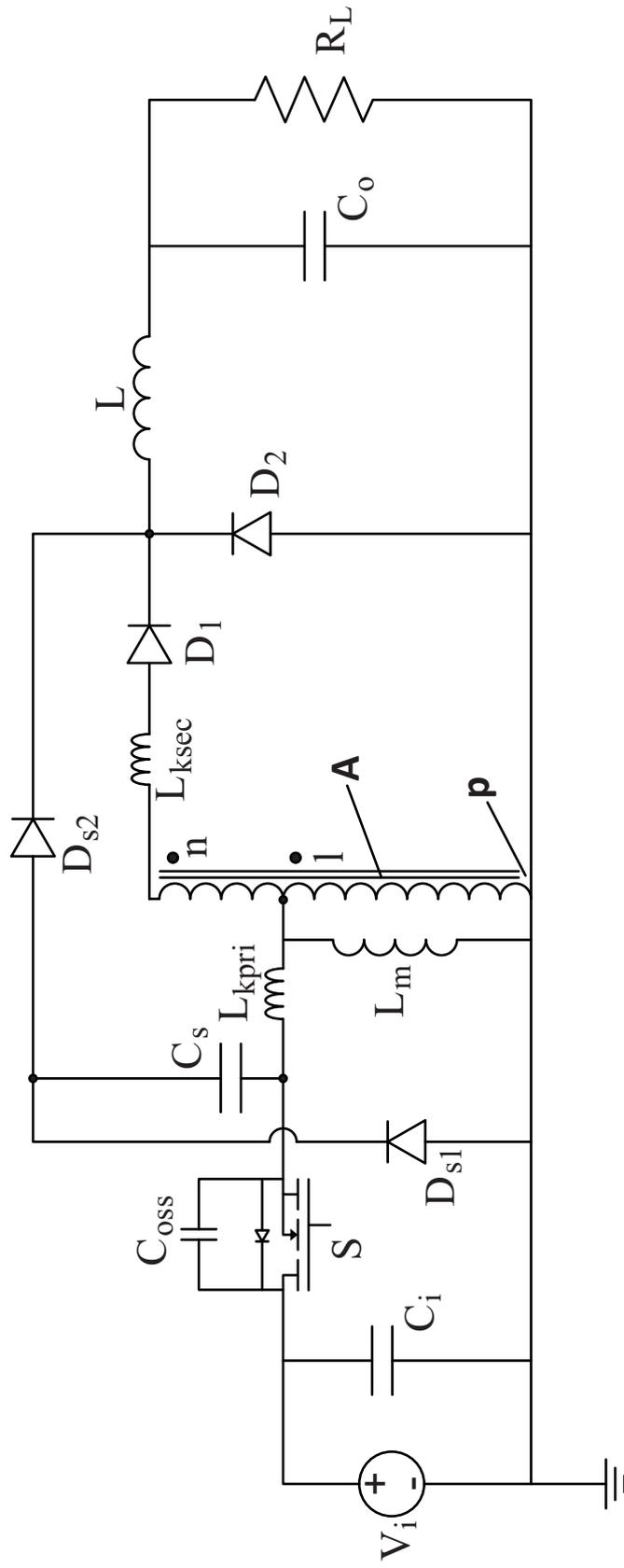


FIG. 2

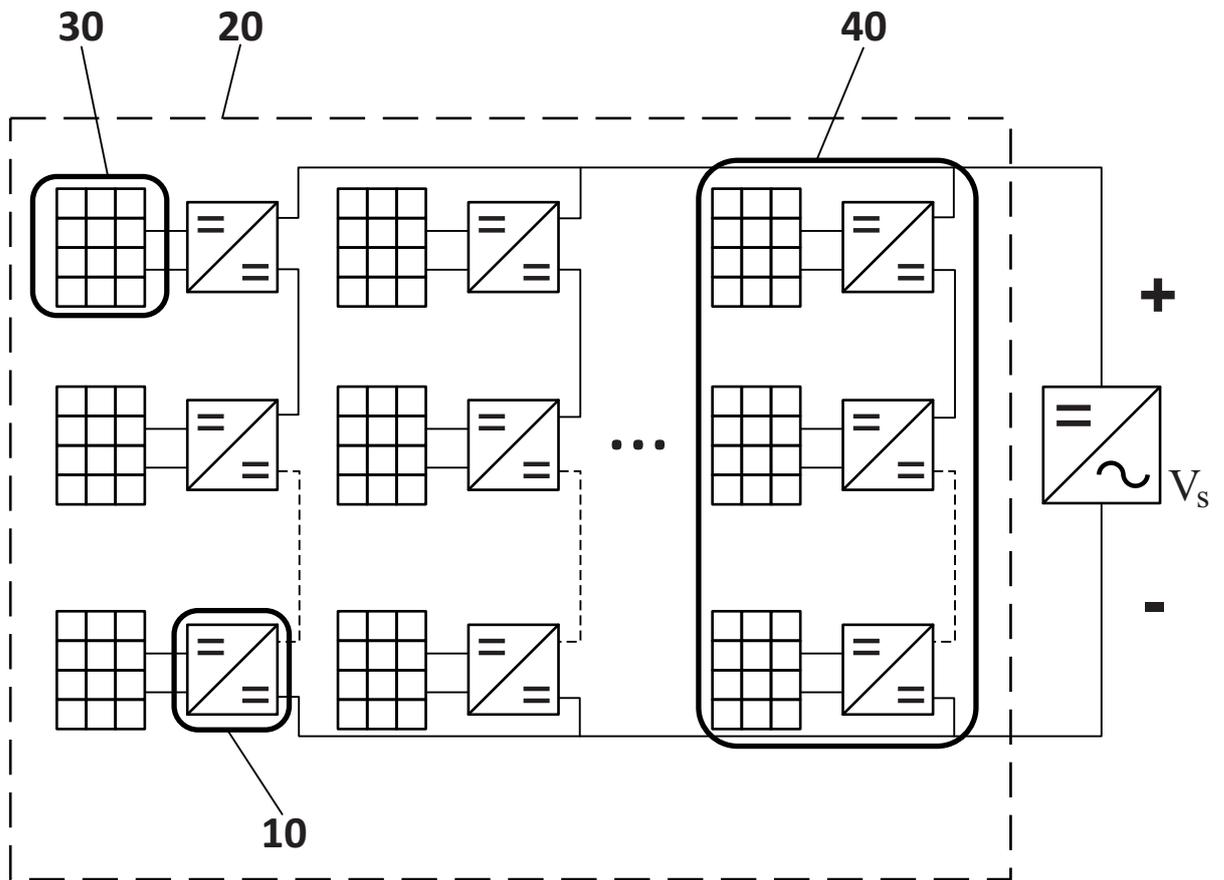


FIG. 3

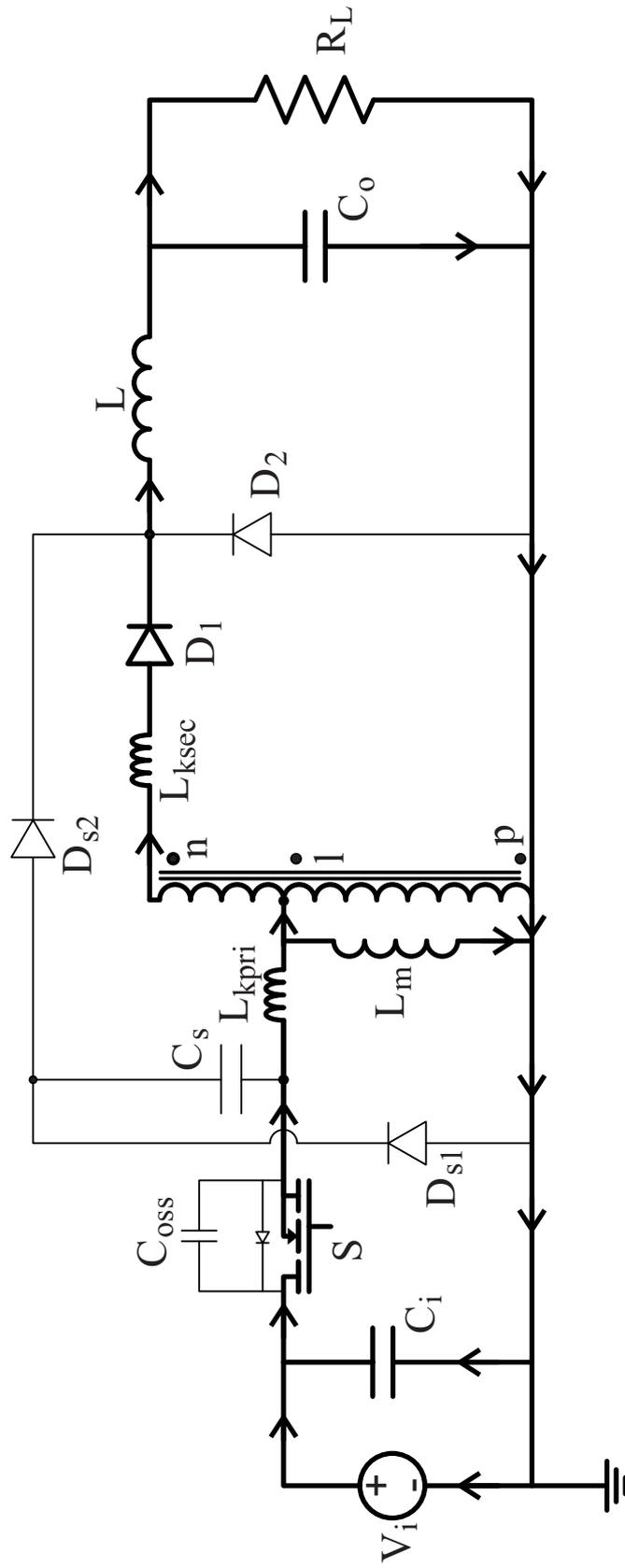


FIG. 4

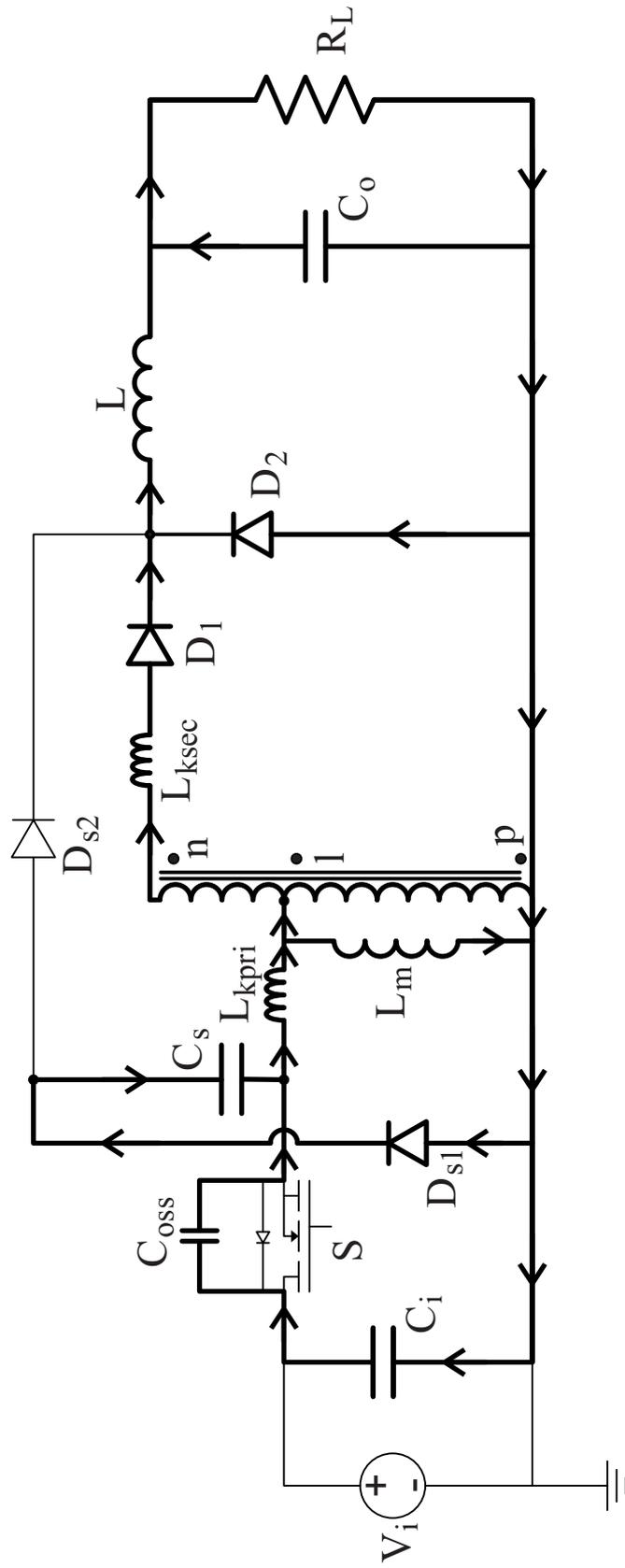


FIG. 5

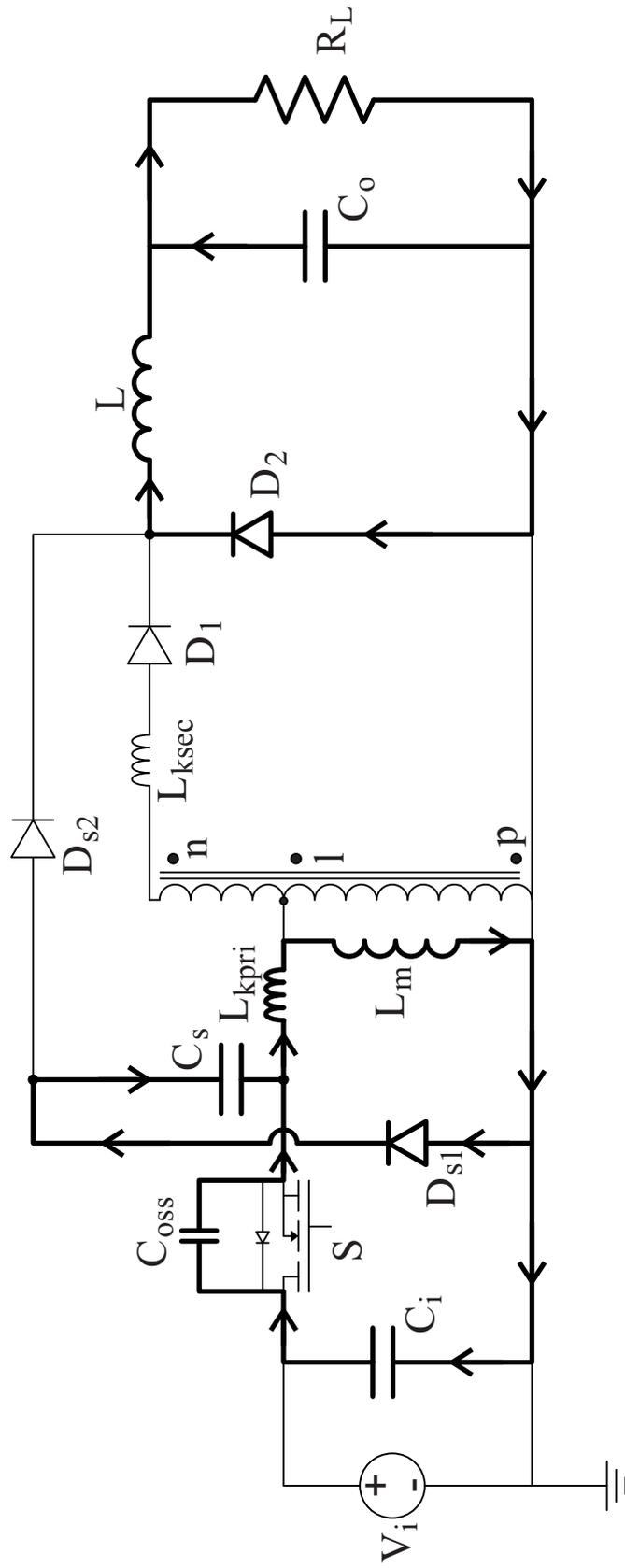


FIG. 6

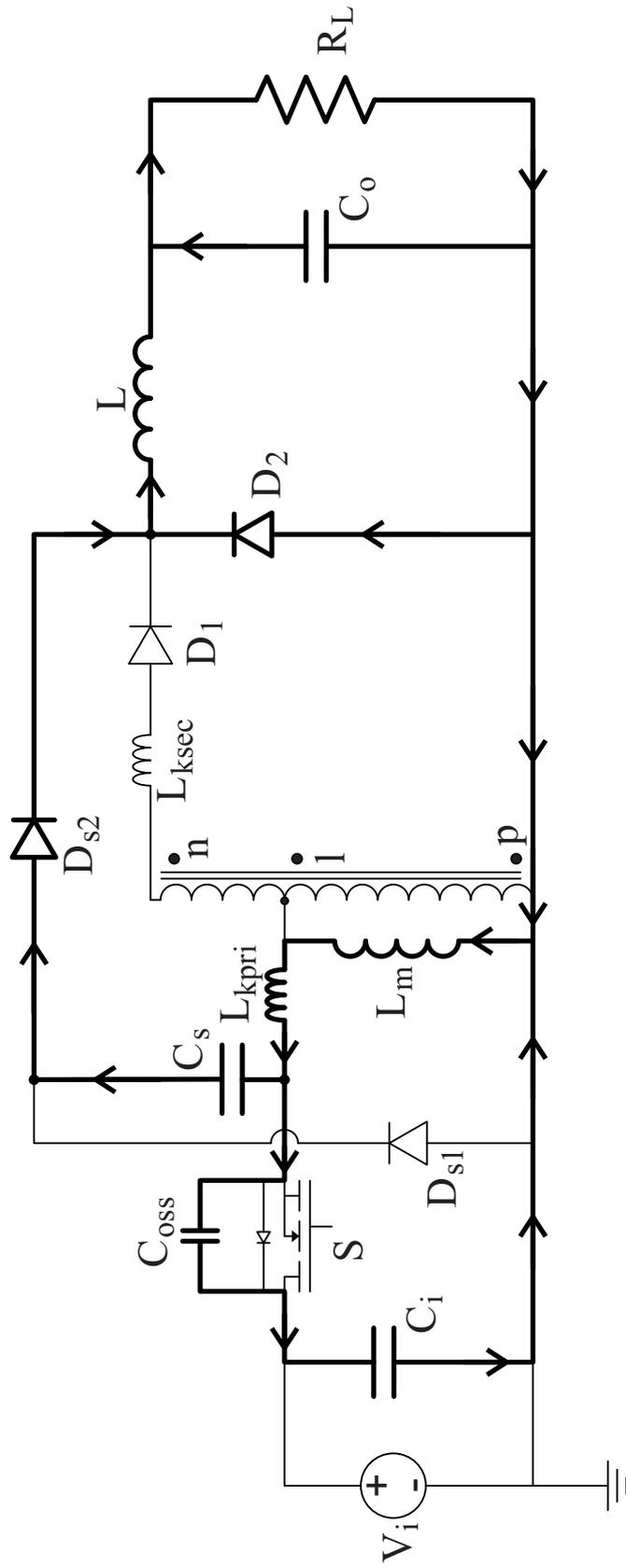


FIG. 7

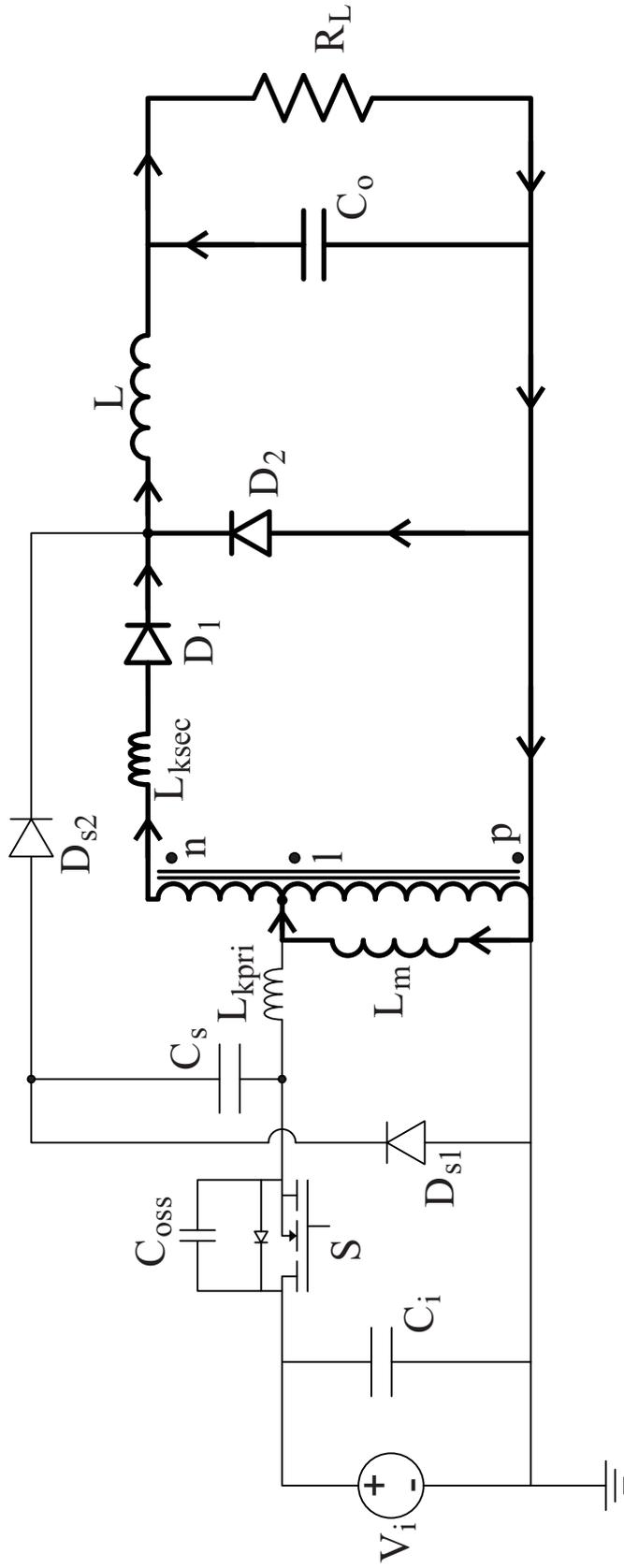


FIG. 8

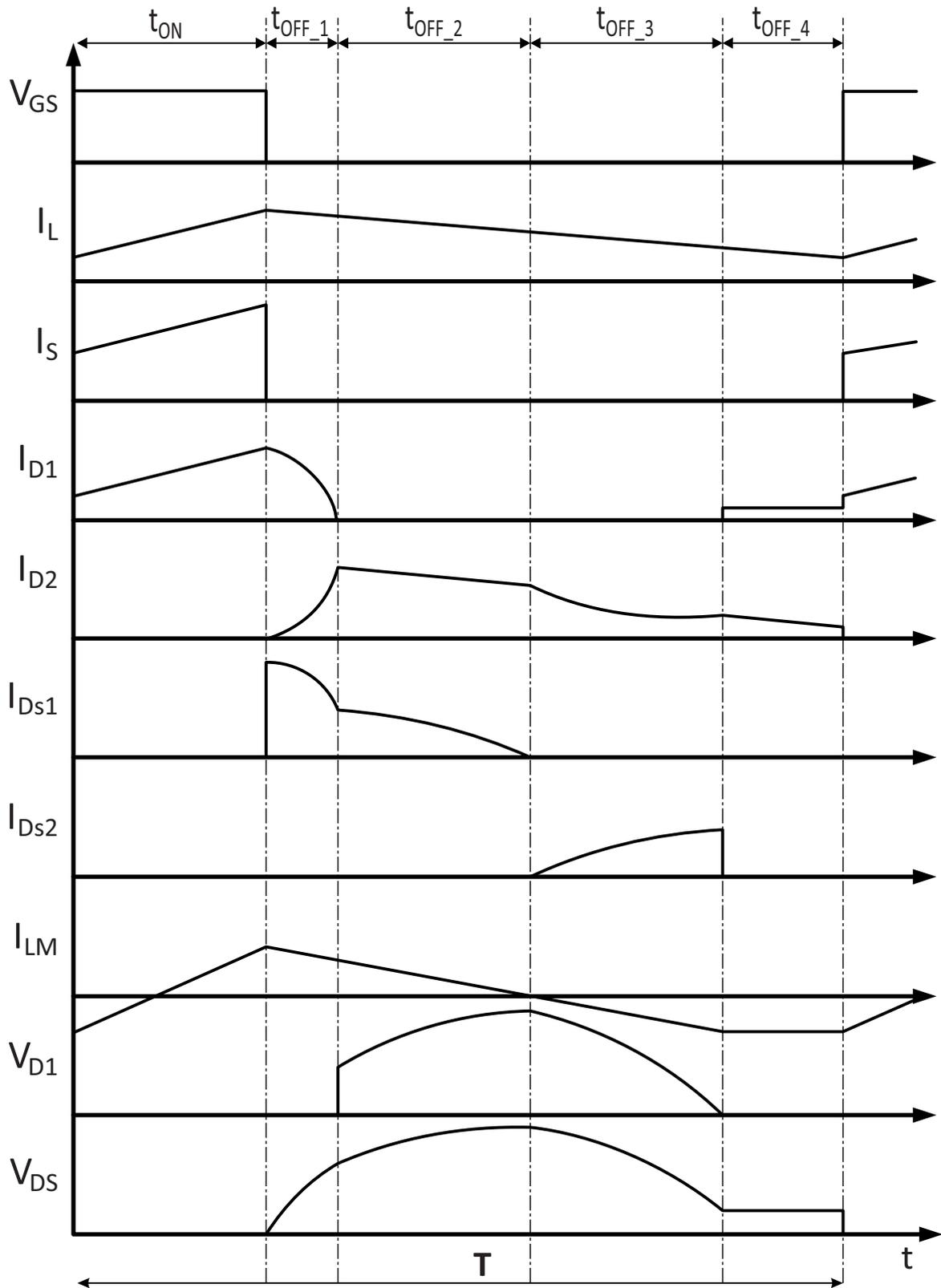


FIG. 9



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ②¹ N.º solicitud: 201730311
②² Fecha de presentación de la solicitud: 09.03.2017
③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤¹ Int. Cl.: **H02M3/24** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Lopez del Moral D et al. "HIGH EFFICIENCY DC-DC AUTOTRANSFORMER FORWARD-FLYBACK CONVERTER FOR DMPPT ARCHITECTURES IN SOLAR PLANTS" 30/11/2014, Páginas 431 - 436 [en línea][recuperado el 20/09/2017]. ISSN ISBN 978-1-4799-6301-0, <DOI: doi:10.1109/CPE.2015.7231114>	1-13
A	Del Moral D Lopez et al. "A NEW DC-DC BUCK-BOOST MODIFIED SERIES FORWARD CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS" 14/09/2014, Páginas 1887 - 1894 [en línea][recuperado el 21/09/2017]. <DOI: doi:10.1109/ECCE.2014.6953649>	1-13

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
22.09.2017

Examinador
M. d. López Sábater

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, IEEE, Elsevier, Internet.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 22.09.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-13	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-13	SI
	Reivindicaciones	NO

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	Lopez del Moral D et al.. HIGH EFFICIENCY DC-DC AUTOTRANSFORMER FORWARD-FLYBACK CONVERTER FOR DMPPT ARCHITECTURES IN SOLAR PLANTS. 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE) 2015 IEEE Piscataway, NJ, USA. Páginas 431 - 436 [en línea][recuperado el 20/09/2017]. ISSN ISBN 978-1-4799-6301-0, <DOI: oi:10.1109/CPE.2015.7231114>	30.11.2014

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 más cercano a esta primera reivindicación independiente es D01, en el que se divulga un convertidor (figura 4) de corriente continua a corriente continua, reductor y elevador, que comprende un puerto de entrada y un puerto de salida y un autotransformador que incorpora los correspondientes terminales primario y secundario conectados a la entrada y la salida. El convertidor de D01 cuenta asimismo con un interruptor (S) conectado entre el puerto de entrada y el devanado primario, para conectar y desconectar el puerto de entrada con el primario del autotransformador y con una bobina de salida (L) conectada entre el devanado secundario y el puerto de salida.

El conversor divulgado en D01 no es exactamente igual que el que se desea proteger, puesto que en D01 se incorpora un circuito entre el terminal de desmagnetización del autotransformador y el diodo D2 que consiste en un diodo de desmagnetización Dd y un condensador auxiliar Caux que llevan la energía de la bobina de magnetización Lm a la salida del convertidor cuando el interruptor (S) está en "off".

En la reivindicación en estudio, sin embargo, se incorpora el condensador auxiliar (Cs) entre el primario y el secundario del autotransformador (A). A consecuencia de esta diferencia, al abrir el interruptor (S) del conversor que se desea proteger, el condensador auxiliar (Cs) puede cargarse con energía parásita almacenada en el autotransformador (A), y entregar al menos parte de esa energía cargada en el condensador auxiliar (Cs) por el puerto de salida. Este efecto técnico no se consigue con el circuito implementado en el conversor de D01.

No se ha encontrado en el estado de la técnica anterior ningún conversor de continua a continua elevador reductor que aproveche la energía parásita de la bobina de magnetización de la misma manera en que se hace en esta reivindicación que, por lo tanto, se considera nueva y con actividad inventiva.

Reivindicaciones 2 a 7 y reivindicación 13:

Estas reivindicaciones dependientes se consideran nuevas e inventivas por depender, directa o indirectamente, de la primera reivindicación.

Reivindicación 8:

Esta reivindicación independiente solicita protección para un método de conversión de continua a continua con aprovechamiento de energías parásitas que no se ha encontrado en el estado de la técnica. Por lo tanto, esta reivindicación también se considera nueva y con actividad inventiva.

Reivindicaciones 9 a 12:

Estas reivindicaciones son nuevas e inventivas por depender directa o indirectamente de la reivindicación número 8.