

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 445**

21 Número de solicitud: 201730566

51 Int. Cl.:

H02M 7/42 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

31.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

02.10.2018

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(100.0%)**

**Jordi Girona, 31
08034 Barcelona ES**

72 Inventor/es:

**VERDUGO RETAMAL, Cristian Andres;
RODRIGUEZ CORTÉS, Pedro;
CANDELA GARCIA, José Ignacio;
LUNA ALLOZA, Álvaro y
ROCABERT DELGADO, Joan**

54 Título: **Convertidor Modular Multinivel con Transformadores de Aislación**

57 Resumen:

Es un convertidor modular multinivel con transformadores de aislamiento para aplicación en sistemas de media y alta tensión AC, donde el convertidor comprende una rama positiva y una rama negativa conectadas mediante una inductancia de acoplamiento que ayuda a disminuir el rizado de la corriente de las ramas producto de la tensión conmutada a la salida del convertidor. Cada rama posee una conexión serie de módulos conformados por un inversor, un filtro y un transformador de aislamiento de baja frecuencia que se encarga de proveer aislamiento galvánico entre el lado DC y el lado AC de cada inversor, para que de esta manera, los altos niveles de tensión de flotación presentes en los devanados secundarios de los transformadores producto de la conexión serie de módulos no afecten a los elementos DC externos conectados.

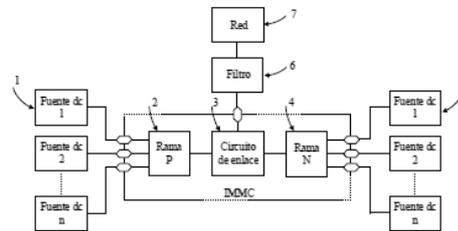


Figura 1

DESCRIPCIÓN

Convertidor Modular Multinivel con Transformadores de Aislación

5 **SECTOR DE LA TÉCNICA**

La presente invención pertenece al sector de la electrónica de potencia y presenta una configuración de convertidor de potencia con una estructura multinivel ideado para operar en sistemas de media y alta tensión mediante la conexión de módulos aislados con una etapa de conversión. De esta manera no hay una interacción eléctrica entre los lados de corriente continua (DC) y alterna (AC) en los módulos, lo que permite operar con elevados niveles de tensión, evitando una elevada tensión de flotación respecto a tierra en las fuentes externas DC conectadas a los módulos que forman el convertidor.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La conexión a la red eléctrica de una planta de generación se realiza a través de líneas AC o DC, las cuales operan a altos niveles de tensión para transferir la potencia generada minimizando las pérdidas en los conductores. Aunque la elección de un sistema u otro está determinado por diferentes requerimientos, como por ejemplo, la potencia, la tensión, la longitud de las líneas y los costes de inversión, la mayoría de las plantas de energía renovable existentes hoy en día utilizan sistemas de conexión en AC. Para alcanzar los niveles requeridos de tensión en este tipo de configuración, comúnmente se utilizan convertidores de potencia operando en modo de fuente de tensión (VSC-Voltage Source Converters), conectados a la red distribución de la planta mediante transformadores elevadores de baja frecuencia, los cuales, además de aumentar la tensión de salida, proporcionan aislamiento galvánico entre el convertidor y la red. De esta manera, el convertidor puede operar con bajos niveles de tensión en su lado DC, sin superar los límites de aislamiento de los semiconductores, condensadores y/o las fuentes externas.

30

Generalmente las plantas de generación basadas en energías renovables poseen una configuración en la que se utilizan convertidores de baja tensión, conectados a la red a través de uno o más transformadores para elevar la tensión de salida al nivel establecido por la línea de transmisión. Esta configuración se puede observar en las plantas fotovoltaicas convencionales, donde los conjuntos de paneles fotovoltaicos se

35

conectan al lado DC de los convertidores de potencia en baja tensión y las salidas de estos convertidores se conectan a la red de media tensión mediante un transformador. El objetivo de esta red de media tensión es transmitir la potencia generada hasta el punto común de interconexión entre la planta y la red, donde se utiliza nuevamente un transformador para elevar la tensión al nivel de operación de la línea de transmisión. No obstante, dicha planta de generación puede implementarse mediante convertidores multinivel, lo que permite elevar la tensión de salida del convertidor y disminuir así la cantidad de etapas de transformación de la planta. Estos convertidores se caracterizan por la conexión serie de módulos, los cuales aumentan la amplitud y número de niveles de la tensión de salida, logrando con esto, señales de tensión AC con un menor contenido armónico, lo que permite utilizar filtros de salida de menor tamaño.

El filtro de interconexión a la red es un elemento fundamental en un convertidor de potencia, ya que tiene un coste elevado. Por lo tanto, la posibilidad de disminuir el tamaño de dicho filtro no solo aumenta la eficiencia, sino que además ayuda a disminuir el coste total del convertidor de potencia.

Dentro de las configuraciones de convertidores multinivel más usadas actualmente, se encuentra el Convertidor de Puentes en H conectados en Cascada (Cascade H-Bridge Converter, CHB) descrito en la patente US8982593B2 y el Convertidor Multinivel Modular (Modular Multilevel Converter, MMC) descrito en las patentes US20120113698A1 y US20130279211A1. El convertidor CHB se puede encontrar en configuración monofásica o trifásica, y se implementa mediante la conexión en serie de varios módulos de puente en H alimentados en su lado DC mediante fuentes independientes, con lo que se consigue aumentar la tensión AC de salida. Por otro lado, el MMC es un convertidor multinivel formado por dos grupos de módulos conectados en paralelo a través de una inductancia de acoplamiento. Estos grupos de módulos están constituidos por convertidores del tipo puente en H, o semi-puente, conectados en serie y la tensión en el punto intermedio de conexión entra ambos grupos genera una tensión AC. Esto permite utilizar el MMC en sistemas de transmisión de alta tensión DC (HVDC).

Considerando los beneficios de los convertidores multinivel, es normal preguntarse por qué no han sido ampliamente aplicados en sistemas de generación de energía renovable de alta potencia. Aunque estos convertidores ya han comenzado a implementarse en sistemas eólicos, los sistemas fotovoltaicos siguen utilizando principalmente estructuras basadas en convertidores de dos o tres niveles con

configuración monolítica. Esto se debe a la restricción impuesta por la tensión máxima de aislamiento en los paneles fotovoltaicos, la cual no es compatible con la alta tensión de flotación respecto a tierra que experimentan dichos módulos en los convertidores multinivel convencionales. A medida que el número de módulos conectados en serie en el convertidor aumenta, los módulos más alejados del punto de conexión a red presentan una mayor tensión de flotación respecto a tierra, pudiendo llegar a sobrepasarse la tensión límite de aislamiento de los paneles. Para evitar este problema, es posible utilizar convertidores de dos etapas de conversión, donde la primera corresponde a un convertidor DC-DC encargado de aumentar la tensión del panel y proveer aislación galvánica de alta frecuencia, y la segunda consiste en un convertidor DC-AC para la conexión a la red. Dentro de estas configuraciones en US7679941B2 se presenta un convertidor en cascada trifásico con módulos aislados a través de transformadores de alta frecuencia. Sin embargo, los convertidores de dos etapas no se utilizan en sistemas de alta potencia debido a su elevado coste.

Una solución para elevar la tensión de conexión AC consiste en el uso de transformadores electrónicos de potencia (Power Electronic Transformer, PET) o también llamados transformadores de estado sólido (Solid State transformer, SST) propuesto en US5943229A, los cuales han comenzado a tomar un importante interés en este tipo de aplicaciones. Debido a que utilizan dos o más etapas de conversión para elevar la tensión de salida, los PET presentan algunas características importantes a destacar, como son el control de potencia reactiva, la compensación de desbalances y la capacidad de proveer filtros pasivos. Sin embargo, el aumento de las etapas de conversión conlleva un incremento en el coste, lo cual no favorece su uso en sistemas de alta potencia.

En cualquier caso, teniendo en cuenta los beneficios que ofrecen los convertidores modulares multinivel, resulta de interés el desarrollo de una solución que posea las características de estos convertidores en lo referente a modularidad y calidad en la tensión de salida, pero que también sea capaz de proveer aislamiento a los elementos conectados en el lado DC de sus módulos con una etapa de conversión, para así evitar altos niveles de tensión de flotación respecto a tierra a un coste competitivo. Esta es la razón de ser de esta invención, en la cual, los módulos que componen el convertidor de potencia se conectan en serie a través de transformadores de baja frecuencia. De esta manera se proporciona aislación galvánica para proteger los límites de tensión de las fuentes externas conectadas en el lado DC.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

El convertidor de potencia modular multinivel con transformadores de aislación (Isolated Multi-Modular Converter, IMMC) objeto de la invención comprende al menos una
5 conexión de dos ramas de módulos de conversión conectadas en paralelo, denominadas rama positiva y negativa. Cada rama de módulos dispone de una inductancia de acoplamiento en uno de sus extremos y se conecta en serie con uno o más módulos de conversión con el objetivo de aumentar la tensión AC de salida del convertidor. La tensión de salida del convertidor es la existente en los extremos de las
10 ramas positiva y negativa conectadas en paralelo. Cada módulo de conversión se conforma mediante un inversor de potencia de dos o más niveles, un filtro AC y un transformador de baja frecuencia que proporciona aislación entre el lado DC y el lado AC de cada uno de los módulos. De esta manera, se consiguen altos niveles de tensión AC a la salida del convertidor de potencia sin comprometer el aislamiento de los
15 elementos de potencia conectados en el lado DC de los módulos. Esto se consigue porque que el transformador de aislamiento evita que existan altos niveles de tensión de flotación respecto a tierra en el lado DC de los módulos cuando se conecta una gran cantidad de dichos módulos en serie. Esta característica permite utilizar el convertidor IMMC en aplicaciones de mediana y gran potencia en las que se requiera altos niveles
20 de tensión AC en base a la adición de las tensiones DC individuales de cada uno de los módulos.

Cada rama del convertidor de potencia está compuesta por el mismo número de módulos, presentando todos ellos características idénticas. Cada módulo se conecta
25 en serie con sus módulos adyacentes mediante los terminales del devanado secundario de los transformadores.

Los módulos pueden tener una configuración monofásica o trifásica. En el caso de módulos monofásicos, se utilizan inversores monofásicos de dos o más niveles conectados a transformadores monofásicos. En el caso de módulos trifásicos, se
30 utilizan inversores trifásicos conectados a transformadores trifásicos, donde los devanados del lado primario del transformador se conectan en estrella o triángulo, mientras que los devanados del lado secundario del transformador tiene accesibles todos sus terminales para conectarse en serie con los transformadores de los módulos
35 adyacentes. En esta conexión, cada fase de un módulo determinado se conecta con la correspondiente fase del módulo adyacente, es decir, la fase a de un módulo se conecta con la fase a del módulo adyacente. De igual manera, se lleva a cabo la conexión de

las fases *b* y *c*. El convertidor IMMC monofásico se obtiene mediante la conexión de ramas formadas por módulos monofásicos, mientras que el convertidor IMMC trifásico se obtiene mediante la conexión de ramas formadas por módulos trifásicos, o mediante la conexión de tres convertidores IMMC monofásicos de idénticas características con sus tensiones de salida desfasadas 120°.

El número de niveles de la tensión de salida del convertidor está directamente relacionado con el número de módulos conectados en una rama. Mediante una estrategia de modulación de convertidores multinivel se consigue que los niveles de la tensión de salida del convertidor aumenten adecuadamente a medida que el número de módulos conectados en serie también lo hace. Esto resulta en que la frecuencia de conmutación efectiva de la tensión de salida del convertidor aumente con el número de módulos y, por lo tanto, el contenido armónico de la corriente de salida del convertidor disminuya. Este efecto permite disminuir el tamaño del filtro de salida de los módulos y por lo tanto su costo para mantener un determinado nivel de armónicos de conmutación en la corriente de salida del convertidor de potencia.

La conexión en serie de múltiples módulos en cada rama da lugar al aumento de la inductancia de dispersión total equivalente, resultante de la adición de las inductancias de dispersión de cada devanado secundario. La suma de esta inductancia de dispersión más la inductancia de acoplamiento de cada rama da lugar a la inductancia equivalente de la rama, la cual tiene por objetivo disminuir el rizado de la corriente resultante de la tensión conmutada a la salida del convertidor. Por lo tanto, a medida que el número de módulos aumenta, el valor de la inductancia total de cada rama aumenta y por consiguiente el valor requerido de la inductancia de acoplamiento puede disminuir para mantener un determinado nivel de rizado en la corriente de salida.

La potencia transferida a través de los módulos de las ramas puede fluir desde el lado DC al lado AC. En ese caso pueden utilizarse diferentes elementos conectados en el lado DC para generar potencia, como fotovoltaica, eólica u otro tipo para proveer la energía requerida. Por otra parte, la potencia también puede ser transferida desde el lado AC al lado DC de los módulos. En ese caso pueden utilizarse baterías para almacenar la energía suministrada.

En una realización preferente, el convertidor IMMC monofásico y/o trifásico puede incorporar adicionalmente un filtro AC a la salida del convertidor para disminuir el rizado de la corriente inyectada a la red AC. Además, se puede llevar a cabo una realización

preferente en la que el convertidor IMMC trifásico se conecte con configuración en estrella. De esta forma, las tres fases comparten un punto denominado neutro, en él se interconectan las ramas positivas y negativas de las diferentes fases. La tensión de salida del convertidor, medida respecto al punto neutro tiene una amplitud $\sqrt{3}$ menor que la tensión medida entre sus fases.

En otra realización preferente, la conexión entre las fases del convertidor IMMC trifásico se implementa con configuración en triángulo, de forma que una fase del convertidor se conecta en serie con la fase siguiente hasta formar el triángulo. De esta manera, el punto medio de las inductancias de acoplamiento de una fase se conecta con el punto de conexión la rama positiva y negativa de la fase siguiente.

En cualquiera de las realizaciones preferentes, las corrientes de la rama positiva y negativa están constituidas por la corriente AC de salida y la corriente AC circulante que fluye entre ramas. Esta última corriente se genera cuando se presentan desequilibrios de potencia entre ramas y/o módulos de una misma rama. Para controlar ambas corrientes, se emplea un control desacoplado, donde la corriente AC de salida del convertidor se controla mediante un lazo de control que depende de la potencia total generada por ambas ramas, mientras que la corriente circulante se controla mediante un lazo de control que depende de la diferencia de potencia entre ambas ramas.

En aquellas realizaciones preferentes en las que una rama presente dos o más módulos desbalanceados, se implementa un control local de balance de potencia que se encarga de mantener una determinada corriente circulante para operar el convertidor a pesar de los diferentes niveles de potencia generados por sus módulos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción de la invención y con objeto de aclarar la comprensión de sus características, se muestran las figuras en donde con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

- La figura 1 muestra un esquema general de una posible realización de la presente invención.
- La figura 2 muestra un esquema general de una rama del convertidor.
- La figura 3 muestra un esquema detallado de una posible realización de la presente invención.

- La figura 4 muestra una vista detallada de la conexión de dos módulos trifásicos adyacentes en una rama.
- La figura 5 muestra una vista general de la conexión en estrella de la configuración trifásica en la presente invención.
- 5 • La figura 6 muestra una vista general de la conexión en triángulo de la configuración trifásica en la presente invención.
- La figura 7 muestra el circuito equivalente por fase de la presente invención.
- La figura 8 muestra un esquema general del método de control usado en la presente invención.
- 10 • La figura 9 muestra una vista de una posible realización conectada al esquema general del método de control.
- La figura 10 muestra la respuesta dinámica frente a cambios de potencia en una posible realización preferida de la invención.
- La figura 11 muestra el efecto que causan los cambios de potencia en los índices de modulación de los módulos en una posible realización preferida de la invención.
- 15 • La figura 12 muestra las tensiones de salida de las ramas superior e inferior en una posible realización preferida.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

20

A continuación se presenta una realización preferente de la invención haciendo referencia a las figuras mencionadas previamente.

25

Tal como se observa en la figura 1, una posible realización preferente del convertidor modular multinivel es conectado a la red eléctrica (7) mediante un filtro (6). Cada módulo dentro de las ramas tiene una fuente DC (1) - (5), la cual se representa a través de una fuente de energía renovable para transmitir energía hacia la red. La conexión entre la rama positiva (2) y la rama negativa (4) se realiza mediante un circuito de enlace (3) que se compone de las inductancias de acoplamiento (17) – (18) y un punto de enlace o (19). Los módulos (10) están conformados por un inversor (8) de dos niveles, un filtro de frecuencia de conmutación y un transformador de baja frecuencia (9) que provee aislamiento al lado DC de cada inversor.

30

35

La figura 3 muestra en detalle una fase del convertidor de la realización preferente. Esta configuración comprende n módulos (12) por rama (11), es decir, existen 2n módulos por fase. Cada uno de estos módulos contiene un inversor trifásico con su salida conectada al devanado primario (28) del transformador con configuración en estrella y

con los dos terminales de cada fase del devanado secundario (29) accesibles. La conexión entre dos módulos adyacentes se realiza a través de los devanados secundarios (29) tal como se observa en la figura 4, donde la fase *a* de un módulo (26) se conecta en serie con la fase *a* del módulo siguiente (27). La suma de los *n* módulos de una rama establecen la tensión de rama, la cual se define como v_{up} para la rama positiva y v_{low} para la rama negativa. Ambas expresiones se representan a través de las ecuaciones (1a) y (1b).

$$v_{up} = \sum_{k=1}^n v_{upk} \quad (1a)$$

$$v_{low} = \sum_{k=1}^n v_{lowk} \quad (1b)$$

Donde v_{upk} representan el módulo *k* de la rama positiva y v_{lowk} representa el módulo *k* de la rama negativa.

Una forma de analizar la dinámica de la realización preferente es a través del modelo equivalente por fase (33) presentado en la figura 7. En el modelo, cada fase se representa mediante un circuito con *n* fuentes de tensión (30) – (32) en serie por rama, las cuales corresponden con la tensión de salida de cada módulo (20) – (21). Estas fuentes se conectan en serie a la inductancia total de rama (31), que corresponde a la suma de las inductancias de dispersión de los devanados secundarios y la inductancia de acoplamiento de la rama. Mientras mayor sea el número de módulos conectados en serie, mayor será la inductancia de dispersión total y por lo tanto menor podrá ser el valor de la inductancia de acoplamiento requerida. La tensión de salida del convertidor (22) se representa mediante la suma de las tensiones de los módulos y la caída de tensión en la inductancia equivalente de cada rama. Por lo tanto, para poder controlar la realización preferente, es necesario implementar una estrategia capaz de balancear las variaciones de tensiones de los módulos y controlar la corriente que se suministra a la red. Para llevar a cabo este control, se definen dos corrientes: la corriente de salida, que se relaciona directamente con la potencia suministrada a la red, y la corriente circulante, que fluye entre las ramas y se encarga de mantener la tensión total DC del convertidor a un determinado nivel. Ambas corrientes se deducen de las corrientes de rama positiva (23) y rama negativa (24) mediante las expresiones (2a) y (2b).

30

$$i_{up} = \frac{i_o}{2} + i_c \quad (2a)$$

$$i_{low} = -\frac{i_o}{2} + i_c \quad (2b)$$

Donde i_o es la corriente de salida y i_c es la corriente circulante. Tal como se mencionó previamente, la corriente circulante fluye entre las ramas y por lo tanto no se observa en la salida del convertidor.

5 El método de control que se utiliza en la realización preferente es presentado en la figura 8. El control de las corrientes de salida y circulante (35) recibe las señales de referencia desde el control de tensión (34), que es responsable de controlar la potencia activa de salida mediante el control de la tensión DC promedio (34) de ambas ramas, el control de potencia reactiva de salida (38) y el control de referencia de corriente
10 circulante (39). Mediante este esquema se obtienen las referencias de tensión de salida y la tensión en la inductancia equivalente de rama. Adicionalmente, se implementa un bloque de transformación (36) para obtener las tensiones de referencia de la rama positiva y negativa, las cuales se usan como referencia en el control de balance local (37) que se encarga de compensar las variaciones de tensiones entre módulos de una
15 rama. Para realizar el modelo de control, se utiliza el modelo dinámico de la corriente de salida y circulante, las cuales son obtenidas mediante el modelo equivalente por fase, siendo sus expresiones:

$$\frac{R_T}{2} i_o + \frac{L_T}{2} \frac{di_o}{dt} = \underbrace{\frac{-v_{up} + v_{low}}{2}}_{v_o} - v_s \quad (3a)$$

$$R_T i_c + L_T \frac{di_c}{dt} = -\underbrace{\frac{(v_{up} + v_{low})}{2}}_{v_c} \quad (3b)$$

20 Donde L_T corresponde a la inductancia equivalente, R_T la resistencia equivalente de las perdidas resistivas, v_{up} y v_{low} la suma de las tensiones de salida en los módulos de la rama positiva y negativa y v_s la tensión de salida por fase del convertidor. Por otra parte, se representa la tensión de salida como la diferencia media de las tensiones de rama y la caída de tensión en la inductancia equivalente como el promedio de las
25 tensiones de rama.

Para regular las tensiones de la rama positiva y negativa a sus valores de referencia, se implementa un control local integrado en cada módulo con el objetivo de controlar las tensiones DC de forma independiente y de esta manera operar cada módulo a diferentes niveles de potencia.

Para tener una comprensión clara de cómo se implementa el método de control en la realización preferente, la figura 9 muestra el convertidor conectado al esquema general de control.

A continuación, se presentan algunos resultados para ilustrar la operación de la implementación preferente propuesta. En este caso, se conectan tres módulos trifásicos por rama con las mismas características en términos de potencia y tensión nominal. La validación del convertidor se realiza mediante su evaluación en tres puntos de operación, donde se observan los cambios de tensión, potencia y corrientes de rama en una de las fases. En el primer caso, ningún módulo genera potencia. Por esta razón, las corrientes de rama y circulante son cero, al igual que la potencia suministrada a la red. Esto se observa en la figura10, donde además se muestran las tensiones DC de cada módulo. Posteriormente todos los módulos generan su potencia nominal y por lo tanto aumentan las corrientes de rama y la potencia de salida. Esta variación se ve reflejada en un leve aumento de tensión DC, la cual vuelve a su valor de referencia después de un determinado tiempo. Finalmente para ver el efecto del desequilibrio de potencia, el primer módulo de la rama inferior deja de generar potencia y por lo tanto las corrientes de rama cambian en amplitud y fase para que circule una corriente circulante encargada de compensar este desequilibrio.

En la figura11 se muestran los índices de modulación y las potencias locales de cada módulo. Mientras no exista desequilibrios de potencia entre ramas o módulos, todos los índices de modulación presentan la misma respuesta pero con un desfase de 180° entre la rama superior e inferior. Esto se observa previo a los 0.2s de la figura 11, donde todos los módulos presentan cambios de potencia de igual magnitud. En el instante 0.2s se produce una disminución de potencia del primer módulo de la rama inferior y por lo tanto aparece un desequilibrio entre módulos. Esto causa que aparezca una corriente circulante, la cual se refleja en una variación de amplitud y fase en los índices de modulación de la rama inferior, mientras que la rama superior no refleja ningún cambio.

Los desequilibrios de potencia también se ven reflejados en las tensiones de salida de

los módulos. En la figura12 se puede apreciar cómo mientras no existan desequilibrios de potencia, las tensiones de los módulos no presentan cambios, pero al generarse un desequilibrio, las tensiones de la rama inferior varían proporcionalmente al cambio en los índices de modulación.

5

REIVINDICACIONES

- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
1. Convertidor modular multinivel con transformadores de aislación que genera n niveles en su tensión AC de salida y que comprende una rama positiva (2) y una rama negativa (4) conectadas entre ellas mediante al menos una inductancia (17) – (18) y un enlace de retorno (19) entre los módulos de ambas ramas, **caracterizado** porque la rama positiva y negativa están formadas por al menos un módulo (10) en el que su lado AC está aislado mediante un transformador de baja frecuencia (9) y un lado DC en el que se conectan elementos externos independientes
 2. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la rama positiva (2) y la rama negativa (4) contienen la misma cantidad de módulos distribuidos en cada una de ellas.
 3. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la potencia a transmitir en un módulo es bidireccional, es decir, puede fluir del lado DC (14) al de AC o viceversa.
 4. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 1, **caracterizado** porque cada módulo contiene un inversor DC/AC (8), un filtro para disminuir el rizado de la corriente y un transformador de baja frecuencia (9) que se usa para, por una parte proporcionar aislamiento entre la tensión de salida del convertidor modular multinivel y los elementos DC externos independientes (13) - (16) y para, por otra parte, elevar la tensión AC de cada módulo si es necesario.
 5. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el inversor de cada módulo generar dos o más niveles de tensión en su salida AC. Este número de niveles se define por el tipo de topología que se desea emplear.
 6. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 5, **caracterizado** porque los módulos son seleccionados entre:
 - a. una configuración monofásica mediante un inversor monofásico.
 - b. una configuración trifásica mediante un inversor trifásico.
 7. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 6, **caracterizado** porque la configuración monofásica del convertidor se obtiene mediante la conexión de ramas

con módulos monofásicos.

- 5 8. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 6 y 7, **caracterizado** porque la configuración trifásica del convertidor se obtiene mediante la conexión de ramas con módulos trifásicos o mediante la conexión de tres convertidores modulares multinivel monofásicos con sus tensiones de salida desfasadas 120°.
- 10 9. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 6, **caracterizado** porque los devanados del primario del transformador trifásico (28) comprenden una configuración en estrella o triángulo, mientras que los devanados del secundario (29) contienen todos sus terminales accesibles para ser conectados con los módulos adyacentes.
- 15 10. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 6, **caracterizado** porque la conexión de dos o más módulos adyacentes en una rama se realiza mediante la conexión serie de los devanados secundarios (29) de cada transformador. Consiguiendo de esta manera un aumento en la tensión de salida del convertidor modular multinivel proporcional al número de módulos conectados.
- 20 11. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la conexión inferior (19) entre la rama positiva (11) y negativa (15) se realiza mediante uno de los terminales de cada devanado secundario del transformador del último módulo de la rama positiva y negativa.
- 25 12. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 3, **caracterizado** porque los módulos en una rama pueden operar con diferentes niveles de potencia para mantener los niveles de tensión DC de cada módulo en el rango requerido.
- 30 13. Convertidor modular multinivel según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la conexión entre las fases del convertidor modular multinivel trifásico se realiza mediante la conexión estrella o triángulo.
- 35 14. Un método de control para el convertidor modular multinivel con transformadores de aislamiento que contiene un controlador responsable de mantener la tensión del lado DC (37) de cada módulo dentro del rango de operación y un control para la potencia transferida entre los elementos DC externos y la salida del convertidor (34) – (38), **caracterizado** porque el método de control comprende un lazo de corriente de salida, que es responsable de regular la potencia en la salida, y un control de

corriente circulante, que es responsable de mantener las tensiones DC balanceadas mediante la corriente que circula entre la rama positiva y negativa.

- 5 15. Un método de control para el convertidor modular multinivel según la reivindicación 14, **caracterizado** porque la referencia del lazo de corriente de salida se define mediante la potencia total generada desde los elementos DC externos de ambas ramas de al menos una fase.
- 10 16. Un método de control para el convertidor modular multinivel según la reivindicación 14, **caracterizado** porque la referencia del lazo de corriente de salida se define mediante la potencia total transferida desde la salida del convertidor.
- 15 17. Un método de control para el convertidor modular multinivel según la reivindicación 14, **caracterizado** porque la diferencia de potencia entre las ramas de una fase determina la referencia del lazo de corriente circulante (39).

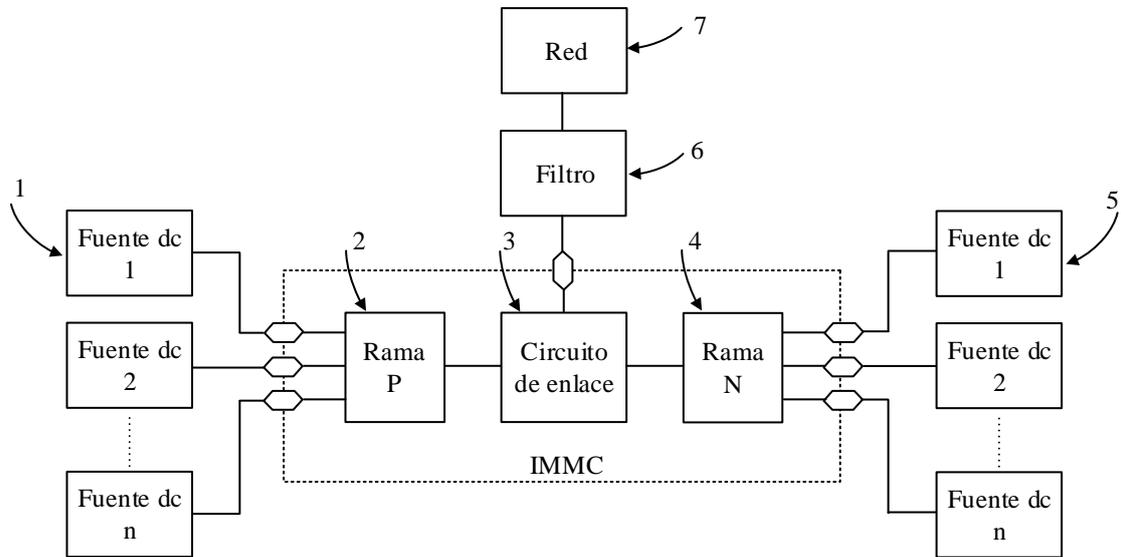


Figura 1

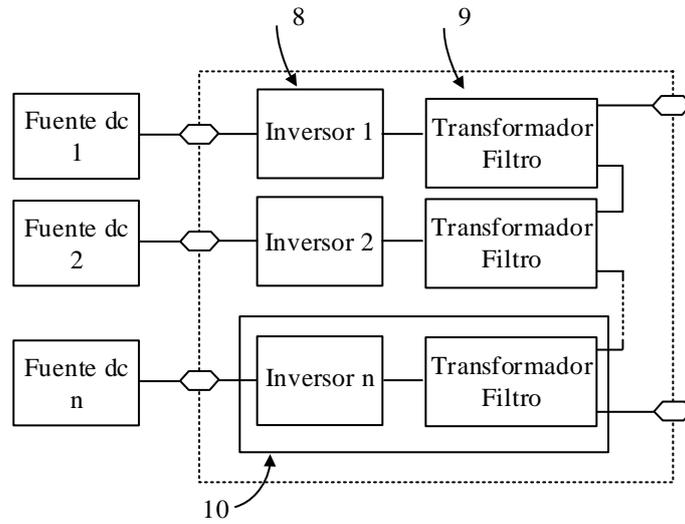


Figura 2

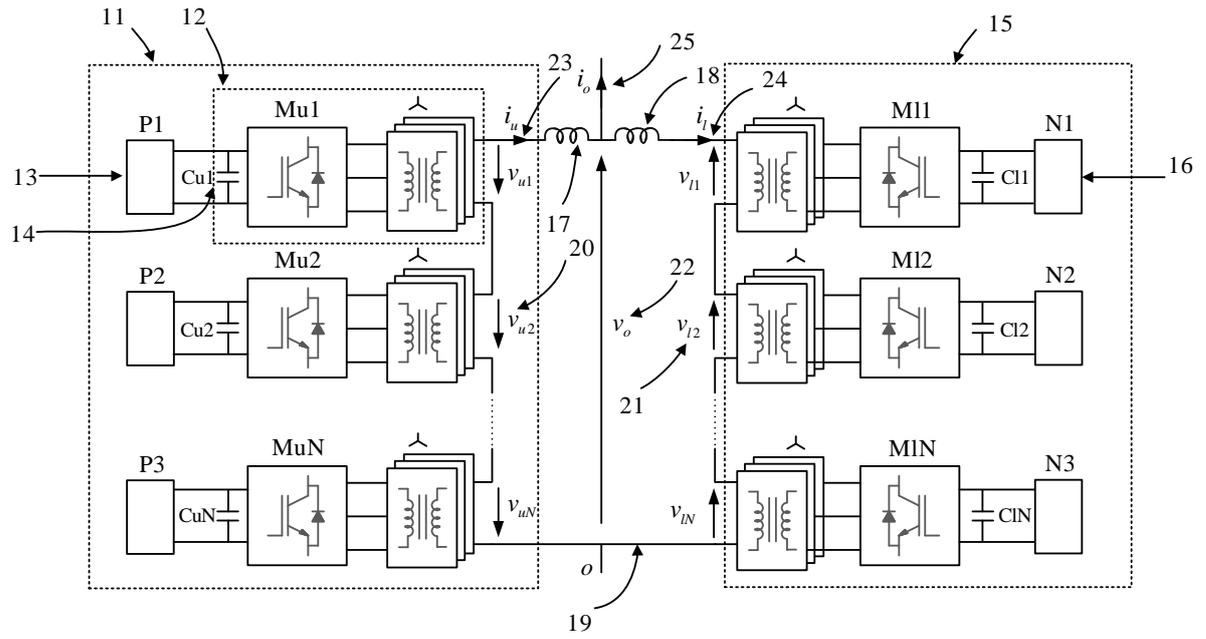


Figura 3

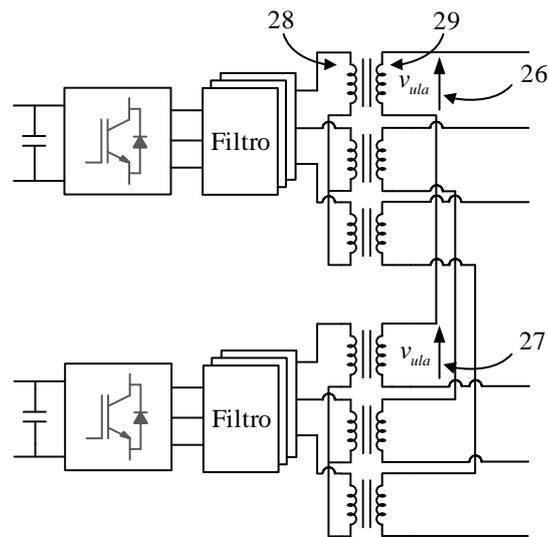


Figura 4

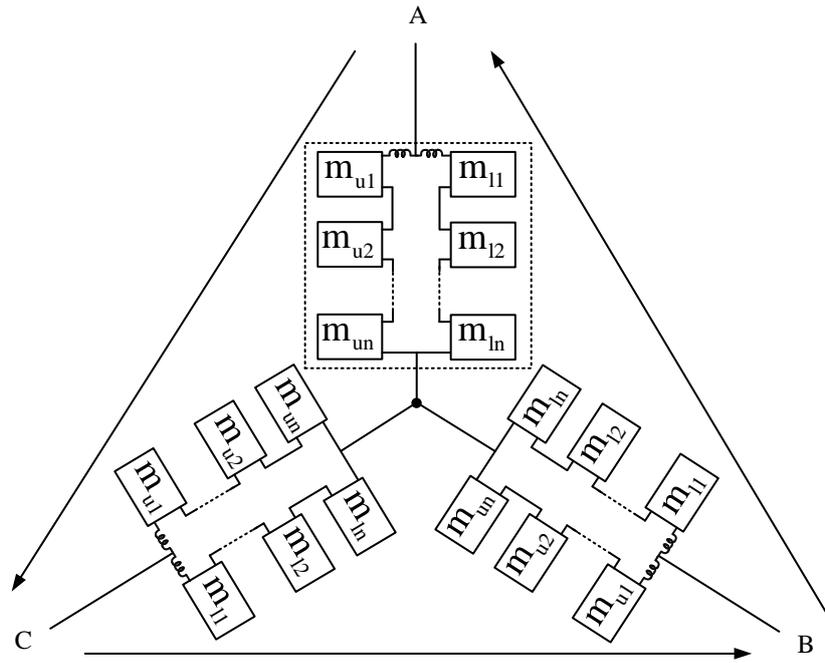


Figura 5

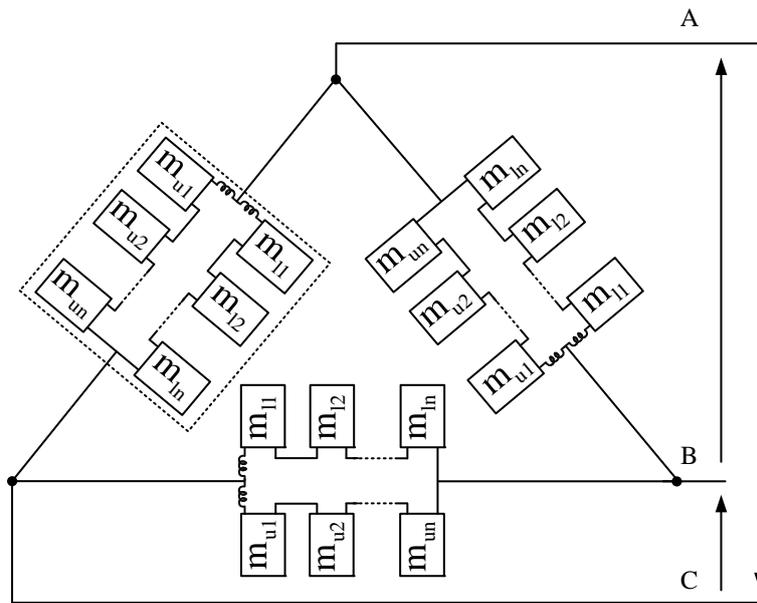


Figura 6

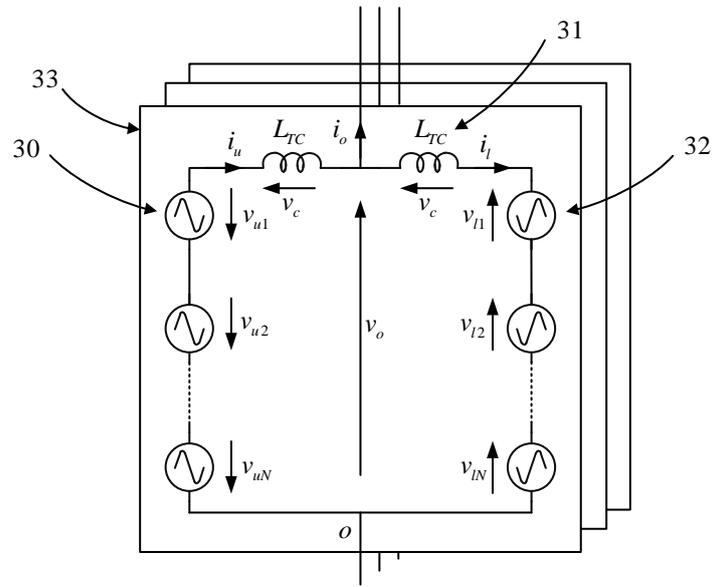


Figura 7

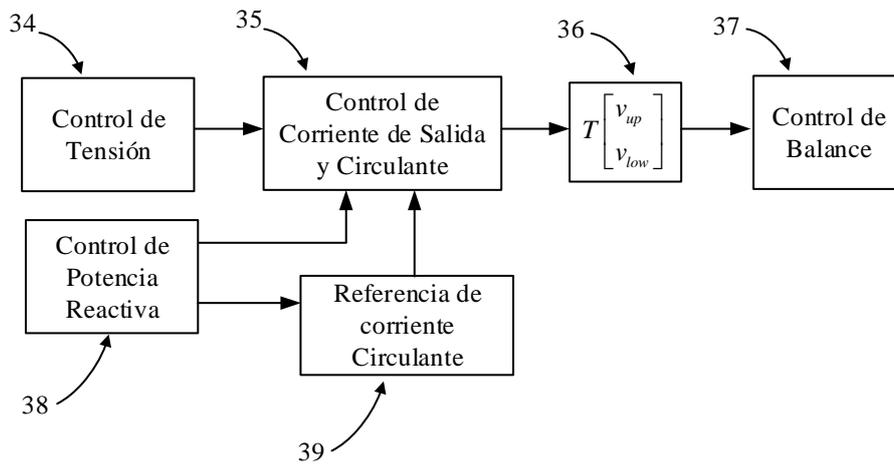


Figura 8

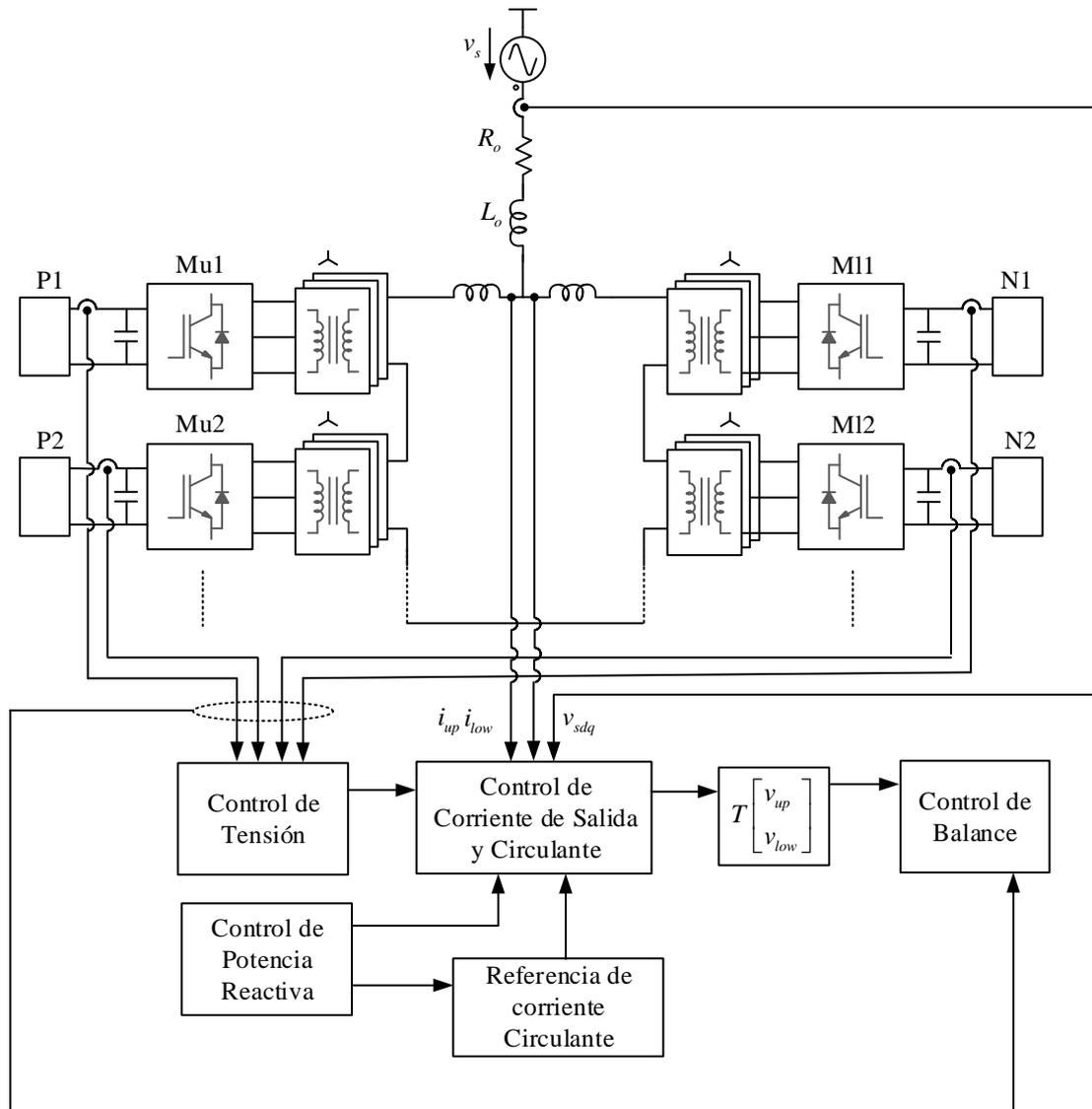


Figura 9

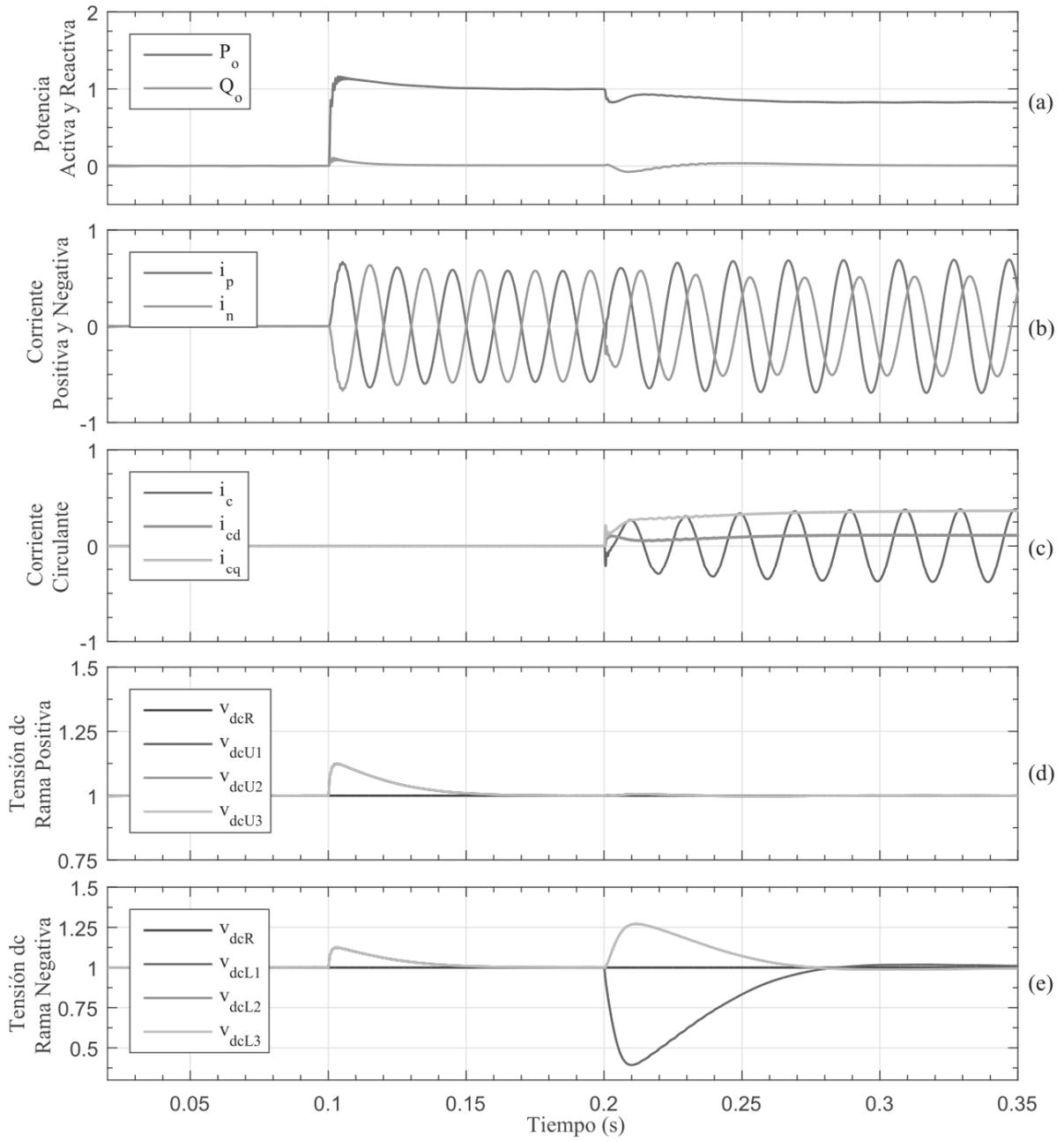


Figura 10

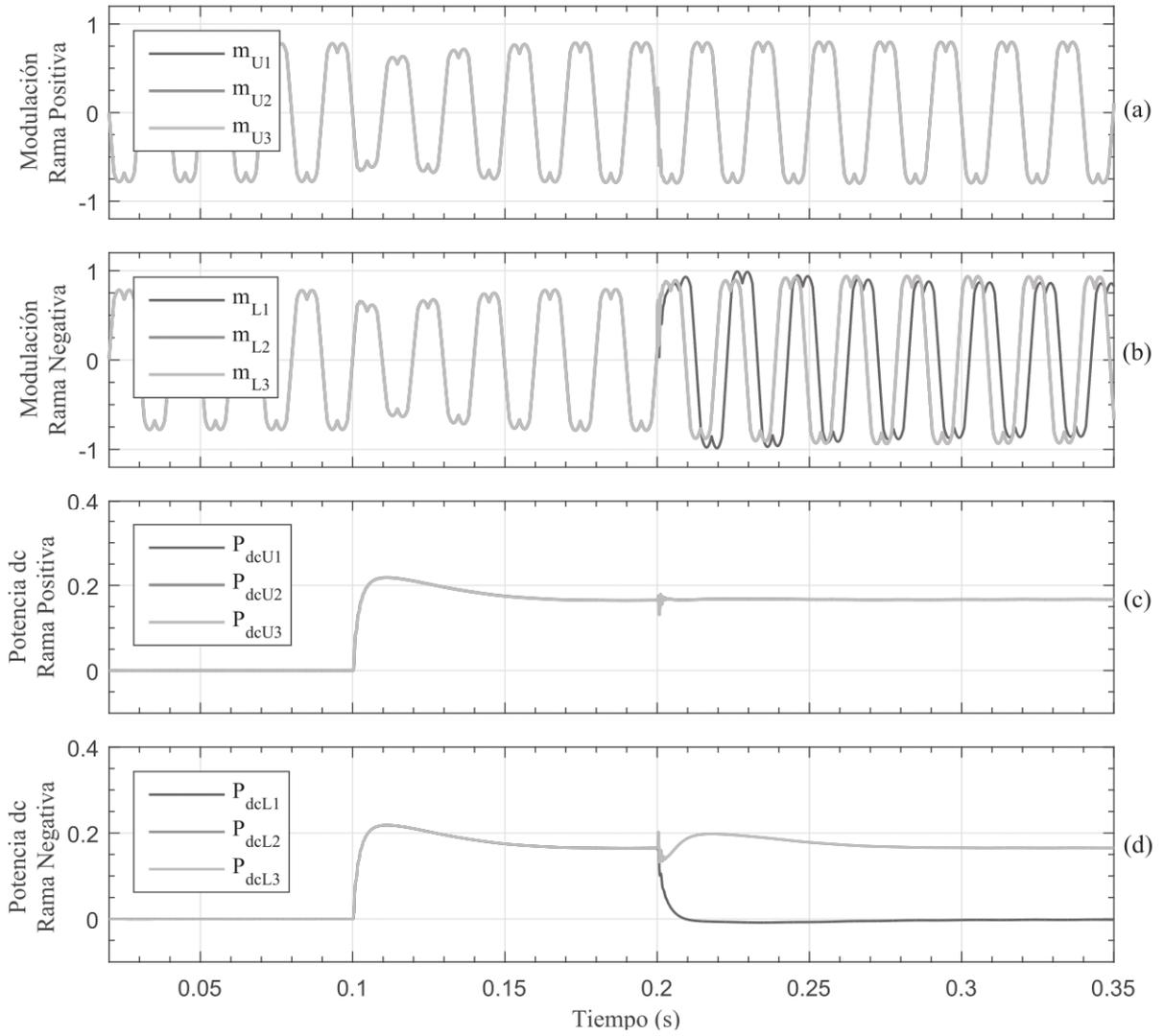


Figura 11

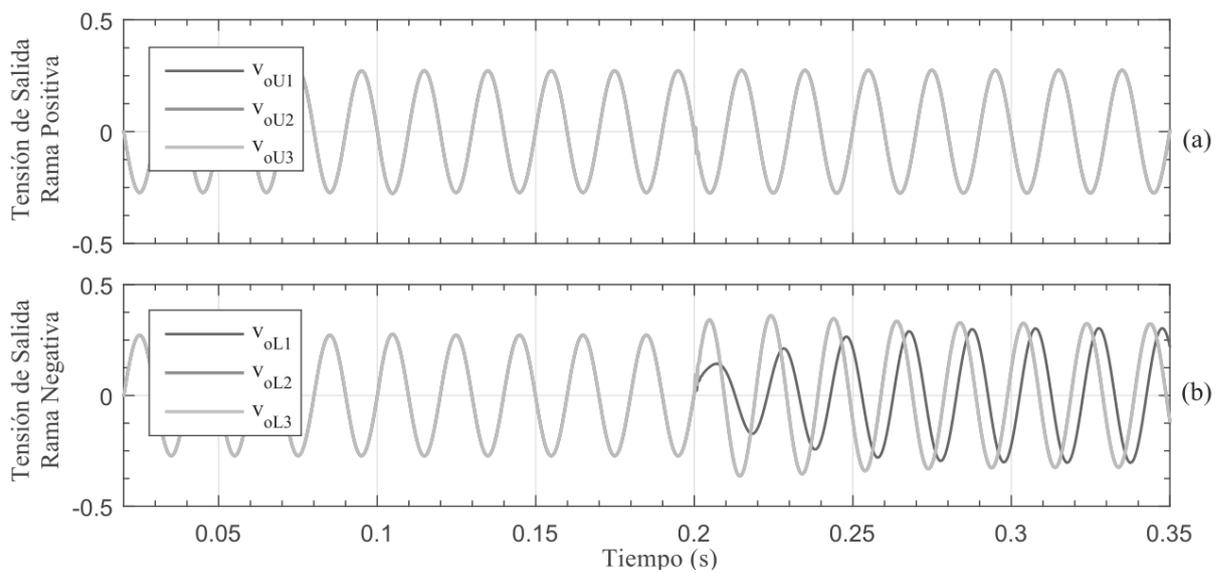


Figura 12



- ②¹ N.º solicitud: 201730566
 ②² Fecha de presentación de la solicitud: 31.03.2017
 ③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤¹ Int. Cl.: **H02M7/42** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Venkataramanaiah J et al. A REVIEW ON SYMMETRIC, ASYMMETRIC, HYBRID AND SINGLE DC SOURCES BASED MULTILEVEL INVERTER TOPOLOGIES. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, 20170327 ELSEVIERS SCIENCE, NEW YORK, NY, US. 27/03/2017, Vol. 76, Páginas 788 - 812 [en línea][recuperado el 30/07/2018]. ISSN ISSN 1364-0321, <DOI: doi:10.1016/j.rser.2017.03.066>	1-15
A	US 2008304300 A1 (RAJU RAVISEKHAR NADIMPALLI et al.) 11/12/2008. Descripción; figuras.	1-15
A	Zhang Huibin et al. TRANSMISSION LEVEL MMC DC/DC CONVERTER FOR LARGE SCALE INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY INTO HVDC GRID. 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia), 20160522 IEEE. 22/05/2016, Páginas 2602 - 2608 [en línea][recuperado el 27/07/2018]. <DOI: doi:10.1109/IPEMC.2016.7512708>	1-15

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:

<p>Fecha de realización del informe 02.08.2018</p>	<p>Examinador M. P. López Sábater</p>	<p>Página 1/4</p>
---	--	------------------------------

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, Google Scholar, Elsevier.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 02.08.2018

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-15	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-15	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	Venkataramanaiah J et al.. A REVIEW ON SYMMETRIC, ASYMMETRIC, HYBRID AND SINGLE DC SOURCES BASED MULTILEVEL INVERTER TOPOLOGIES. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, 20170327 ELSEVIERS SCIENCE, NEW YORK, NY, US. Vol. 76, Páginas 788 - 812 [en línea][recuperado el 30/07/2018]. ISSN 1364-0321, <DOI: doi:10.1016/j.rser.2017.03.066>	27.03.2017
D02	US 2008304300 A1 (RAJU RAVISEKHAR NADIMPALLI et al.)	11.12.2008

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:

En el estado de la técnica anterior se han encontrado diferentes documentos divulgando convertidores en los que cada módulo cuenta con un transformador a la salida del puente H. Es el caso de D01 que se diferencia del convertidor objeto de estudio en que no se trata de un convertidor de dos ramas. (Véase la figura 13 de D01 y su correspondiente explicación)

Otros casos en los que se incorpora un transformador en cada módulo es el caso de los convertidores en dos etapas como el divulgado por D02. Sin embargo, el convertidor que se desea proteger en esta primera reivindicación no es un convertidor en dos etapas, por lo que D02 tampoco puede considerarse una anterioridad del estado de la técnica.

En general, no se ha encontrado ningún documento en el que se divulgue un convertidor multi-nivel que, dotado de varios módulos en serie, cuente con un transformador en cada uno de ellos mediante el cual se lleve a cabo la conexión de los módulos entre sí.

Por lo tanto, esta primera reivindicación, independiente, es nueva y tiene actividad inventiva.

Reivindicaciones 2 a 13:

Estas reivindicaciones dependientes también son nuevas e inventivas por depender de la primera reivindicación directa o indirectamente.

Reivindicación 14:

Esta reivindicación independiente será nueva e inventiva en la medida en que solicita protección para un método de control de un convertidor con las características protegidas por las reivindicaciones 1 a 13. Dado que no se ha encontrado tal convertidor en el estado de la técnica anterior, tampoco ha sido posible encontrar su modo de control, por lo que esta reivindicación es nueva e inventiva.

Reivindicaciones 15 a 17:

Estas reivindicaciones dependientes también son nuevas e inventivas por depender de la reivindicación número 14.