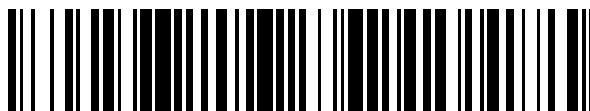


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 413**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/523** (2006.01)

**H02M 7/5387** (2007.01)

**H02M 1/34** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2011 PCT/DK2011/050177**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2011 WO11147423**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2011 E 11723178 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018 EP 2577860**

54 Título: **Convertidor de potencia de alta tensión**

30 Prioridad:

**27.05.2010 US 349020 P**  
**27.05.2010 DK 201070221**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.11.2018**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**  
**Hedeager 42**  
**8200 Aarhus N , DK**

72 Inventor/es:

**KJÆR, PHILIP CARNE**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 691 413 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Convertidor de potencia de alta tensión

## Descripción

5 La presente invención se refiere a un generador de turbina eólica sin transformador. En particular, la presente invención se refiere a un generador de turbina eólica que tiene un generador de potencia de alta tensión conectado de manera operativa a un convertidor de potencia de alta tensión por el que potencia de alta tensión de modo que puede omitirse el transformador elevador tradicional. Además, la presente invención se refiere a soluciones de rectificador/inversor/convertidor de potencia de alta tensión adecuadas para su uso en generadores de turbina eólica sin transformador de alta tensión.

10 Tradicionalmente, los generadores de turbina eólica están equipados con transformadores elevadores para hacer coincidir un nivel de tensión de generador de 0,69-6 kVac con un nivel de tensión de red de 10-35 kVac. Sin embargo, existen varias desventajas asociadas con los transformadores elevadores en generadores de turbina eólica, estando el más significativo de ellos relacionado con pérdidas de conversión de potencia mayores y números de componentes, coste, peso y volumen mayores. Finalmente, los transformadores elevadores inducen un riesgo  
15 aumentado de fallos de turbina, potencialmente averías de turbina. Por tanto, existe una gran necesidad y un deseo de retirar los transformadores elevadores de los generadores de turbina eólica.

Un problema inmediato que surge de la retirada de de un transformador elevador es que el convertidor de potencia, que normalmente incluye un rectificador y un inversor separados por un enlace de CC, debe poder hacerse funcionar a niveles de tensión de 10-35 kVac. Además, es necesario que el generador de potencia pueda hacerse  
20 funcionar hasta tales niveles de potencia. Para hacer funcionar convertidores de potencia a un nivel de tensión de 10-35 kVac, las válvulas individuales del rectificador y el inversor del convertidor de potencia deben poder bloquear tales niveles de tensión. Esto puede lograrse conectando, por ejemplo, varios IGBT en las válvulas del convertidor de potencia en serie.

25 Sin embargo, se conoce que conectar dispositivos semiconductores como IGBT en serie es una tarea bastante difícil debido a los problemas de equilibrado de tensión que surgen de los diferentes tiempos de conmutación de los IGBT. Si la tensión en los IGBT conectados en serie no se equilibra de manera apropiada, normalmente acaban produciéndose niveles de sobretensión en IGBT específicos. En particular, durante el apagado, la tensión transitoria generada se superpone al nivel de tensión principal aumentando el riesgo de daño en el dispositivo. Por tanto, controlar el equilibrio de tensión es crucial cuando se conectan y se hacen funcionar IGBT en serie.

30 El documento "Active-clamp resonant dc link converter with hybrid thyristor-transistor valves", DIVULGACIÓN CIENTÍFICA, MASON PUBLICATIONS, HAMPSHIRE, GB, vol. 449, n.º 41, 1 de septiembre de 2001 (01-09-2001), da a conocer un dispositivo según el preámbulo de la reivindicación 1. Puede verse como un objeto de realizaciones de la presente invención proporcionar un generador de turbina eólica sin transformador de alta tensión, es decir, un generador de turbina eólica en el que se ha omitido el transformador elevador tradicional.

35 Puede verse como un objeto adicional de realizaciones de la presente invención proporcionar un convertidor de potencia de alta tensión para generadores de turbina eólica, es decir, un convertidor de potencia capaz de generar una salida de alta tensión de modo que pueda omitirse el transformador elevador tradicional. Los objetos anteriormente mencionados se cumplen proporcionando, en un primer aspecto, un convertidor de potencia de alta tensión según la reivindicación 1.

40 En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un generador de turbina eólica de alta tensión según la reivindicación 12.

Por tanto, todos los aspectos anteriormente mencionados se dirigen a soluciones diferentes para retirar el transformador elevador tradicional. Según el primer aspecto, se menciona específicamente que no se inserta ningún transformador elevador entre el convertidor de potencia de alta tensión y la red de distribución de potencia asociada o redes secundarias. El término "directamente" mencionado en el segundo aspecto permite que, por ejemplo, pueda insertarse un dispositivo de conmutación u otro medio de conservación de tensión entre el convertidor de potencia de alta tensión y la red de distribución de potencia asociada o redes secundarias. De manera similar, el término "sin transformador elevador" mencionado en el cuarto aspecto aborda el hecho de que no se inserte ningún transformador elevador entre el convertidor de potencia de alta tensión y la red de distribución de potencia asociada o redes secundarias. Obviamente, puede haber otros transformadores dentro del generador de turbina eólica.  
45  
50

En la totalidad de los cuatro aspectos anteriormente mencionados, el término alta tensión debe entenderse como un nivel de tensión que se encuentra normalmente entre CA o CC de 10 y 50 kV. Por tanto, en el presente contexto el término alta tensión se solapa al menos parcialmente con el intervalo de media tensión tal como define la norma de la IEC. Por tanto, el convertidor de potencia de alta tensión debe adaptarse para generar niveles de tensión de potencia entre CA o CC de 10 y 50 kV.  
55

El término red secundaria puede ser una red colectora dentro de una planta de energía eólica.

En caso de que el convertidor de alta tensión genere una salida de potencia de CA, el convertidor puede comprender varias válvulas de conmutación controlables, comprendiendo cada válvula de conmutación una pluralidad de unidades de conmutación conectadas en serie, comprendiendo cada unidad de conmutación un conmutador semiconductor controlable y un diodo semiconductor en una conexión antiparalela.

5 En una realización, el convertidor de potencia de alta tensión puede comprender un inversor con fijación de punto neutral de múltiples niveles, tal como un inversor de 3 niveles, de 5 niveles, de 7 niveles o incluso de más niveles. En otra realización, el convertidor de potencia de alta tensión puede comprender un inversor de múltiples niveles de condensador flotante de múltiples niveles. Alternativamente, en una tercera realización el convertidor de potencia de alta tensión puede comprender varios inversores apilados.

10 Normalmente, el convertidor de potencia de alta tensión está adaptado para generar potencia de CA en tres fases. Además, puede adaptarse el convertidor de potencia de alta tensión para generar potencia de CA, tal como potencia de CA trifásica, que tiene una frecuencia dentro del intervalo 10-100 Hz, tal como por ejemplo alrededor de 16 2/3, 25, 50 ó 60 Hz.

15 En una realización, el convertidor de potencia de alta tensión comprende un rectificador de CA/CC y un inversor de CC/CA interconectados de manera operativa mediante un enlace de CC. Tal convertidor de potencia de alta tensión puede aplicarse en generadores de turbina eólica a gran escala. El convertidor de potencia de alta tensión puede configurarse como convertidor de oposición, tal como un convertidor de cuatro cuadrantes. Alternativamente, el convertidor de potencia de alta tensión puede configurarse como convertidor de dos cuadrantes.

20 El convertidor de potencia de alta tensión puede adaptarse, alternativamente, para generar niveles de tensión de potencia entre 10 y 50 kVdc. Esto permite que el generador de turbina eólica pueda alimentar su potencia directamente al interior de una red de distribución o red secundaria de CC, tal como una red colectora de CC.

25 El generador de turbina eólica puede adaptarse para entregar un nivel de potencia nominal dentro del intervalo de 2-10 MW. Además, el generador de turbina eólica puede configurarse como generador de turbina eólica a gran escala. Además, el generador de potencia de alta tensión debe poder generar niveles de tensión de potencia de entre 10 y 50 kVac.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de los generadores de turbina eólica según la reivindicación 13.

El convertidor de potencia puede adaptarse para generar niveles de tensión de potencia de entre 10 y 50 kV.

30 El inductor de enlace puede estar formado por inductores de enlace distribuidos, es decir, una pluralidad de inductores. Cada circuito de fijación puede comprender un inductor de enlace distribuido.

35 El convertidor de potencia de alta tensión puede implementarse de modo que al menos una unidad de conmutación puede comprender un transistor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela. En combinación con los mismos o en sustitución de los mismos, al menos una unidad de conmutación puede comprender un tiristor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela. Por tanto, el convertidor de potencia de alta tensión puede comprender una válvula de conmutación que comprende una primera y una segunda unidad de conmutación, en el que la primera unidad de conmutación comprende un transistor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela, y en el que la segunda unidad de conmutación comprende un tiristor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela, estando los módulos de conmutación primero y segundo conectados en serie.

40 El condensador de enlace puede estar formado por condensadores de enlace distribuidos, es decir, una pluralidad de condensadores. El convertidor de potencia de alta tensión puede implementarse de modo que al menos una unidad de conmutación comprende un condensador de enlace distribuido. Alternativamente, cada unidad de conmutación puede comprender un condensador de enlace distribuido.

En un noveno aspecto, la presente invención se refiere a un generador de turbina eólica de alta tensión que comprende un convertidor de potencia de alta tensión según el octavo aspecto.

45 En un décimo y último aspecto, la presente invención se refiere a una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica de alta tensión según el octavo aspecto.

La presente invención se explicará ahora en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

la figura 1 muestra una planta de energía eólica en alta mar,

50 la figura 2 muestra a) una disposición de turbina eólica tradicional, b) una disposición de turbina eólica de alta tensión sin transformador que genera potencia de CA, y c) una disposición de turbina eólica de alta tensión sin transformador que genera potencia de CC.

La figura 3 muestra cómo las válvulas semiconductoras en un convertidor de baja tensión pueden transformarse en válvulas de alta tensión adecuadas,

la figura 4 muestra diferentes implementaciones de inversores con fijación de punto neutral de múltiples niveles,

la figura 5 muestra un inversor de múltiples niveles de condensador flotante,

la figura 6 ilustra cómo pueden apilarse puentes completos y semipuentes para formar un inversor de alta tensión,

5 la figura 7 muestra a) una unidad de convertidor de baja tensión, b) una unidad de convertidor de baja tensión que aplica un enlace de CC resonante con fijación activo (ACRDCL), y c) un ACRDCL en el que la funcionalidad de la válvula de enlace se integra en las válvulas de inversor,

la figura 8 muestra un convertidor de potencia de alta tensión con circuitos de fijación conectados en serie,

la figura 9 muestra diversas disposiciones de válvula,

10 la figura 10 muestra un convertidor de potencia de alta tensión con circuitos de fijación conectados en serie y condensadores de enlace integrados,

la figura 11 muestra a) un diagrama de bloques de alto nivel de un convertidor que incluye una horquilla y una carga de volcado en el enlace de CC, y b) un inversor de ACRDCL de baja tensión un circuito de horquilla/carga de volcado entre la fuente de CC y el circuito de fijación, y

15 la figura 12 muestra un inversor de ACRDCL de alta tensión que incluye circuitos de horquilla/carga de volcado conectados en serie en el enlace de CC.

20 Aunque la invención admite diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento. Debe entenderse, sin embargo, que no se pretende que la invención se limite a las formas particulares dadas a conocer. Más bien, la invención ha de cubrir toda modificación, equivalente y alternativa que se encuentre dentro del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

25 En general, la presente invención se refiere a un generador de turbina eólica sin transformador de alta tensión. En particular, la presente invención se refiere a generadores de turbina eólica sin transformador de alta tensión que aplican conversión de potencia completa. Por sin transformador se entiende que no se necesita ningún transformador de línea elevador para conectar el generador de turbina eólica a, por ejemplo una red colectora de alta tensión de una central eléctrica, ya sea en alta mar o en tierra. El generador de turbina eólica también puede alimentar otros tipos de redes.

30 Por alta tensión se entiende un nivel de tensión que se encuentra normalmente dentro del intervalo de 10-50 kV, ya sea como potencia de CA o de CC. Por tanto, el término alta tensión tal como se aplica en el presente contexto puede cubrir también al menos parte del intervalo de media tensión tal como se define por la norma de la IEC. Sin embargo, también pueden aplicarse otros niveles de tensión.

La presente invención también se refiere a un convertidor de potencia de alta tensión adecuado para usarse en una aplicación de excitación de alta tensión, tal como generadores de turbina eólica. Obsérvese, sin embargo, que la presente invención también puede aplicarse en otras aplicaciones de conversión de potencia.

35 Generalmente, existen varias ventajas asociadas con la retirada de los transformadores elevadores en generadores de turbina eólica, siendo las mayores de estas:

1. Reducción en pérdidas de conversión de potencia de turbina
2. Reducción en número de componentes, coste, peso, volumen de turbina
3. Reducción en fallos de componentes de turbina
4. Reducción en pérdidas de potencia reactiva
- 40 5. Eliminación de corrientes de irrupción

45 Se muestra una vista de una planta de energía eólica (WPP) tradicional en la figura 1. La planta mostrada en la figura 1 es una planta en alta mar donde están conectados eléctricamente generadores de turbina eólica (G) por medio de cables de potencia subterráneos/submarinos. Cada uno de los generadores de turbina eólica (G) tiene un transformador elevador integrado. Sin embargo, la presente invención puede aplicarse completamente también a plantas de energía eólica en tierra (WPP). Los cables de potencia forman una red colectora de potencia que dirige la potencia generada a partir de las turbinas a una subestación donde normalmente tiene lugar la transformación a un nivel de tensión más alto (adecuado para una transmisión más larga).

50 En la subestación, los cables colectores de la planta se conectan a un bus de media tensión. Este bus de media tensión también puede conectarse al suministro de potencia interno de la subestación (aux), a un sistema de generación de emergencia (Gem) y a un equipamiento de compensación de potencia reactiva (condensadores,

reactores, conversión electrónica de potencia). Dado que la presente invención puede aplicarse a niveles de tensión normalmente en el intervalo 10-50 kV, al menos parte del intervalo de media tensión tal como se define por la norma de la IEC se encuentra dentro del alcance de la presente invención.

5 Normalmente se emplean múltiples transformadores elevadores principales en la subestación dependiendo del nivel de potencia de la planta real y el diseño para tolerancia a fallos. A menudo se requiere que la potencia generada a partir de la planta se transmita una distancia sustancial antes de reunirse con la red de transmisión principal en el punto de acoplamiento común (PCC) en tierra firme. Puesto que la figura 1 muestra una planta en alta mar, se emplea un cable de transmisión submarino entre la subestación en alta mar y el PCC.

10 En la figura 2a se muestra una arquitectura de conversión de potencia eléctrica de un generador de potencia eólico típico en la figura 2a. El nivel de tensión de la red colectora se encuentra normalmente en el intervalo de 10-50 kVac. El nivel de tensión del generador y el convertidor de potencia es normalmente de 0,69-6,0 kVac. Esto obviamente requiere una transformación de tensión usando un transformador elevador normalmente en cada turbina. También se muestran los filtros tradicionales en el lado de generador y el lado de red del convertidor. Además, el transformador elevador y la red se representan unidos a tierra. Sin embargo, puede que tal unión a tierra no sea ventajosa en todos los lugares.

15 El rectificador y el inversor del convertidor pueden, o no, ser de topologías idénticas. A menudo, el rectificador y el inversor funcionan igual de bien en la totalidad de los 4 cuadrantes (la potencia activa y reactiva pueden controlarse en su flujo en ambas direcciones). Si el generador de potencia no requiere motores, entonces el convertidor puede reducirse a 1 ó 2 cuadrantes, ahorrando potencialmente en equipamiento instalado y potencialmente en pérdidas de conversión.

20 En la figura 2b se muestra un ejemplo de omisión del transformador elevador. Omitir el transformador elevador requiere que el generador de potencia, el convertidor de potencia y la red colectora tengan tensiones nominales iguales. Tal como se mencionó anteriormente, tales tensiones nominales comunes se encuentran normalmente en el intervalo de 10-50 kVac. De nuevo, se muestran filtros en el lado de generador y el lado de red del convertidor, y el transformador elevador y la red se representan de nuevo unidos a tierra.

25 Haciendo ahora referencia a la figura 2c, se representa un generador de turbina eólica de CC de alta tensión. Tal como se representa en la figura 2c, el generador de potencia genera potencia de CA de alta tensión que se rectifica a potencia de CC de alta tensión que tiene una tensión normalmente en el intervalo 10-50 kVdc. La potencia de CC de alta tensión se alimenta al interior de un cable de CC de alta tensión unido a tierra para su distribución adicional.

30 El convertidor de potencias mostrado en las figuras 2b y 2c debe poder funcionar a altas tensiones, tales como, por ejemplo, en el intervalo de 10-50 kV. Las figuras 3-6 muestran posibles implementaciones de convertidores de alta tensión adecuados.

35 Haciendo ahora referencia a la figura 3, se muestra un circuito de inversor conmutado de manera forzada de baja tensión a la izquierda de la figura. Si este circuito de inversor de baja tensión puede hacerse funcionar a un nivel de alta tensión, sus válvulas deben poder soportar tales niveles de alta tensión. Una posible manera de lograr esto es reemplazar cada válvula con varias unidades de conmutación conectadas en serie tal como se ilustra en el lado derecho de la figura 3. Cada unidad de conmutación comprende un conmutador, siendo preferiblemente dicho conmutador un tipo de conmutación rápida de un transistor de potencia semiconductor, tal como un IGBT, IGCT u otro tipo de conmutador similar. El conmutador está dispuesto en un acoplamiento antiparalelo con un diodo. El número de unidades de conmutación acopladas paralelas se escoge para que coincida con el nivel de tensión que debe soportarse.

40 En la figura 4a se muestra otra topología de inversor posible que muestra una topología de inversor con fijación de punto neutral (NPC) de 3 niveles. El nivel de inversor puede aumentarse a, por ejemplo, 5, 7, 9 o incluso niveles de inversor mayores. En la figura 4b se muestran dos ejemplos de topologías de inversor de NPC de fase única de 7 niveles.

45 En la figura 5 se muestra otra topología de inversor de 3 niveles; también puede aumentarse esta topología hasta niveles de inversor mayores. La topología de inversor mostrada en la figura 5 se denomina normalmente el inversor de condensador flotante. Además, también pueden aplicarse topologías de convertidor de enlace de CC cuasirresonante de múltiples niveles. El término "cuasirresonante" se refiere al hecho de que estos circuitos no están oscilando continuamente, sino que pueden desencadenarse por componentes activos para realizar un ciclo resonante.

50 Otro enfoque diferente para alcanzar niveles de alta tensión puede ser el siguiente: en lugar de modificar las válvulas individuales de un diseño de inversor básico, pueden apilarse diseños de inversor completos de partes de las mismas tal como se ilustra en la figura 6, que muestra cómo pueden apilarse semipuentes y puentes completos para alcanzar un nivel de alta tensión deseado.

55 Haciendo ahora referencia a la figura 7a, se muestra una topología de inversor de baja tensión bien conocida. En el circuito de inversor mostrado en la figura 7a, las válvulas conmutadas de manera forzada están reguladas para

producir una salida modulada en anchura de impulsos para sintetizar una forma de onda de tensión de CA de una frecuencia, amplitud y ángulo dados. El circuito de inversor mostrado en la figura 7a también puede implementarse como un denominado circuito de enlace de CC resonante (RDCL). El circuito de RDCL emplea una válvula adicional (válvula de enlace) y un inductor resonante en el enlace de CC. Las válvulas de inversor conmutan en condiciones de tensión cero y emiten varias semiondas sinusoidales. Opcionalmente, la funcionalidad de la válvula adicional (válvula de enlace) puede integrarse en válvulas de inversor en caso de que las válvulas de inversor se implementen como un transistor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela.

Un inconveniente importante del circuito de RDCL anteriormente mencionado es que la tensión de enlace resonante se eleva hasta al menos el doble de la tensión de suministro de CC. Por tanto, los requerimientos de tolerancia de tensión de válvula aumentan. Con el fin de evitar una tensión nominal doble en las válvulas, puede implementarse ventajosamente una denominada fijación de tensión en el enlace de CC de un circuito de RDCL (véase la figura 7b). El circuito de fijación primitivo consiste en un condensador de fijación Ccl, y una unidad de conmutación de fijación (un transistor Scl con un diodo antiparalelo). El condensador de fijación y la unidad de conmutación se conectan en cada lado del inductor de enlace resonante, Lr. El circuito mostrado en la figura 7b se denomina normalmente un circuito de enlace de CC resonante de fijación activo (ACRDCL). En el circuito de ACRDCL, la conmutación tiene lugar de la siguiente manera:

La tensión de condensador de fijación añadida es de  $k3V_{dc}$ , donde k se escoge normalmente entre 0,3 y 0,5. Cuando la tensión de enlace resonante supera la suma de las tensiones de suministro y fijación, es decir,  $(1+k)3V_{dc}$ , la diferencia entre corriente de inductor y corriente de enlace de inversor se alimenta al interior del condensador de fijación. Dado que la capacitancia de Ccl es mucho mayor que Cr, la tensión de condensador de fijación cambia poco mientras se carga o descarga. Por tanto, la tensión de enlace resonante Vr permanece aproximadamente constante a  $(1+k)3V_{dc}$  durante la duración de la corriente que fluye dentro/fuera de la fijación.

Mientras la corriente fluye a través del diodo de fijación (de manera antiparalela con respecto a Scl), el transistor de fijación Scl se enciende en condiciones de tensión cero y corriente cero. En cierto punto, cuando la corriente de inversor supera la corriente resonante de inductor, la corriente de fijación cambia de sentido y fluye de vuelta al exterior a través del transistor de fijación Scl. Este transistor Scl se apaga cuando la carga neta de condensador de fijación intercambiada con el enlace equivale a cero, por tanto, la tensión de condensador de fijación se mantiene constante. La duración durante la cual está activa la fijación varía con el nivel de energía de exceso de inductancia Lr.

Finalmente, cuando la fijación deja de conducir, la corriente de inversor vacía el condensador resonante Cr y la tensión de enlace Vr regresa a cero, donde el enlace transistor Sr se enciende de nuevo. Dependiendo del punto de funcionamiento, el diodo de enlace (antiparalelo con respecto a Sr) puede conducir antes de que el transistor comience.

Con respecto al circuito de RDCL, la válvula de enlace de ACRDCL Sr puede omitirse y su funcionalidad puede incorporarse a las válvulas de inversor, véase la figura 7c. Obsérvese, sin embargo, que la funcionalidad de la válvula de enlace solamente puede integrarse en las válvulas de inversor cuando estas se conmutan de manera forzada. Puede implementarse una válvula conmutada de manera forzada si solamente se aplican transistores como elementos de conmutación en cada válvula. Como ya se indicó, la figura 7c muestra un ACRDCL de baja tensión en el que la funcionalidad de la válvula de enlace resonante se integra en el inversor y en el que la válvula de fijación Scl se implementa como un transistor y un diodo en una conexión antiparalela. En la figura 7c el inductor resonante se indica como Lr.

Para niveles de tensión en los que un único semiconductor por válvula es insuficiente para bloquear la tensión en el estado bloqueado se requieren disposiciones conectadas en serie de semiconductores. Tales disposiciones conectadas en serie de semiconductores pueden realizarse de diversas maneras diferentes (véase la figura 9). Se proporcionará más adelante una descripción más detallada de las diversas disposiciones mostradas en la figura 9.

La figura 8 muestra una realización de la presente invención y, por tanto, una realización de un circuito de ACRDCL de alta tensión adecuado para usarse como inversor de alta tensión en un generador de turbina eólica de alta tensión. Las válvulas de inversor consisten en N pares de transistores y diodo antiparalelos conectados en serie. Todos los transistores se regulan simultáneamente para lograr una compartición de tensión eficaz durante la conmutación y durante el bloqueo. Haciendo aún referencia a la figura 8, los condensadores de enlace de CC resonantes también se disponen en serie. La funcionalidad de la válvula de enlace se ha integrado en los transistores de las válvulas de inversor.

El inductor de enlace/resonante, el condensador de fijación y la válvula de fijación se disponen como circuitos de unidad de fijación acoplados en serie. Cada una de las válvulas de fijación se implementa como conmutador, siendo preferiblemente dicho conmutador un tipo de conmutación rápida de un transistor de potencia semiconductor, tal como un IGBT, IGCT u otro tipo de conmutador similar. El conmutador se dispone en una conexión antiparalela con un diodo. Los circuitos de unidad de fijación pueden conectarse ventajosamente en serie porque esto evita que los transistores se acoplen directamente en serie.

Haciendo aún referencia a la figura 8, la funcionalidad de los circuitos de unidad de fijación conectados en serie se hace funcionar ventajosamente de manera independiente. Si los condensadores de fijación de los circuitos tienen un nivel de capacitancia diferente, entonces la corriente de fijación que fluye diferirá entre circuitos de unidad de fijación. Dado que el control imperante es mantener el nivel de energía del condensador de fijación entre ciclos, entonces el instante en el que la corriente de fijación va de la carga a la descarga diferirá entre los circuitos de unidad y, por tanto, también lo hará el instante en el que el transistor de fijación se apaga. La variación será pequeña entre los circuitos de unidad de fijación.

La ventaja de que circuitos de unidad de fijación conectados en serie (casi idénticos) contengan una válvula semiconductor de potencia, un condensador y un inductor es que el nivel de tensión por componente puede mantenerse lo suficientemente bajo de modo que no se necesite conectar en serie ningún semiconductor dentro de la válvula. Por tanto, la conmutación se vuelve más simple, dado que el equilibrado de tensión dinámica deja de ser un problema durante la conmutación o al bloquear.

La figura 9 muestra implementaciones de válvula de inversor alternativas donde la figura 9a muestra una implementación de válvula basada en transistor, es decir, una válvula conmutada de manera forzada. El número de disposiciones de transistor/diodo conectadas en serie puede diferir, obviamente, de las 4 disposiciones representadas. El número de disposiciones de transistor/diodo conectadas en serie se escoge normalmente según la tensión que va a bloquearse en el estado de bloqueo. Tal como se muestra en la figura 9a, se acopla un diodo en cada transistor, formando por tanto una conexión antiparalela.

En la implementación de válvula representada en la figura 9b todos los transistores, excepto uno, se han reemplazado por tiristores. Por tanto, solamente está presente una única disposición de transistor/diodo en contraposición a la pluralidad de disposiciones de tiristor/diodo conectadas a la misma. Las figuras 9c y 9d muestran implementaciones de válvula con condensadores de enlace integrados. Para las implementaciones de válvula que aplican tiristores, el tiempo de recombinación ( $t_q$ ) del tiristor debe ser tan corto como sea posible. La figura 10 muestra un circuito de inversor en el que los condensadores de enlace se han integrado en las válvulas de inversor. Además, la funcionalidad de la válvula de enlace se ha integrado en los transistores de las válvulas de inversor.

Los circuitos de ACRDCL mostrados en las figuras 8 y 10 tienen varias ventajas:

1. La división de tensión durante la conmutación se vuelve mucho menos importante si los semiconductores conectados en serie conmutan durante condiciones de enlace de CC de tensión cero.
2. La complejidad de la división de tensión durante el bloqueo no cambia con respecto al circuito básico (véase la figura 7a).
3. La complejidad de la división de tensión durante el bloqueo se reduce ampliamente si se distribuyen condensadores grandes a lo largo de la cadena de válvulas.
4. La fijación puede realizarse dividiendo el circuito consistente en inductor resonante, condensador de fijación y válvula de fijación en N unidades idénticas, cada una sujeta a aproximadamente una enésima parte de la tensión de fijación total.

Durante el funcionamiento de la realización mostrada en la figura 10, las válvulas de tramo de fase de inversor siempre tienen o bien la válvula superior o bien la inferior encendida en cualquier momento dado. Durante periodos de tensión cero de enlace tanto la válvula superior como la inferior están encendidas. Dado que el patrón de conmutación del inversor se modula, la capacitancia resonante efectiva se crea a partir de la alternancia de baterías de condensadores de válvula. Sin embargo, la cantidad de capacitancia activa en el circuito resonante permanecerá constante.

La parte de la corriente de reactor de enlace que fluye a los condensadores resonantes fluirá, en la realización de la figura 10, a través de las válvulas que están encendidas. Por tanto, estas válvulas portarán una corriente más alta en comparación con la realización de la figura 8.

Cuando se distribuyen los condensadores de enlace resonantes al interior de las válvulas, cada posición de válvula (transistor y diodo antiparalelo) tendrá sus terminales conectados a un condensador (véanse también la figura 9c y la figura 9d). Este condensador actúa como condensador de circuito de amortiguamiento (el ritmo de variación de tensión ( $dV/dt$ ) será limitado).

Cuando la tensión de enlace ya no se fija, y la tensión de enlace se hace resonar de vuelta descendiendo hacia cero, todos los condensadores distribuidos en las válvulas se descargarán. Durante la tensión cero, todas las válvulas están encendidas y todos los condensadores están descargados. Cuando el inductor resonante está lo suficientemente cargado, algunas de las válvulas se apagan. Esto fuerza la corriente en las válvulas desde los transistores hasta los condensadores, y los condensadores comenzarán a cargarse siguiendo el mismo ciclo resonante descrito anteriormente hasta que se fije de nuevo la tensión de enlace.

Por tanto, los transistores se han apagado en tensión de enlace cero, tras lo cual la acumulación resonante gradual

de tensión en cada condensador también se acumula en cada transistor en las válvulas. La división de tensión de bloqueo entre transistores está regida por los condensadores distribuidos. Dado que las diferencias en las capacitancias deben mantenerse próximas a la uniformidad, es posible lograr división de tensión. Por tanto, no se requiere ningún margen de tensión especial para permitir diferencias entre posiciones en la misma válvula.

- 5 Los generadores de turbina eólica que emplean conversión electrónica de potencia completa emplean normalmente una carga de volcado de modo que puede disiparse potencia de generador en la carga de volcado en lugar de fluir a la red. La figura 11a es un ejemplo de una carga de volcado (señalada con una línea discontinua) que se coloca en el enlace de CC de convertidor.

- 10 Si no sale potencia del inversor conectado a la red, y continúa fluyendo potencia desde el generador al interior del enlace de CC, la tensión del enlace de CC se elevará muy rápidamente. Para evitar niveles de tensión excesivos, se activa la carga de volcado encendiendo y apagando su interruptor de horquilla. El interruptor de horquilla debe ser preferiblemente un tipo de conmutación rápida de transistor de potencia semiconductor, tal como un IGBT, IGCT o u otro tipo de conmutador similar. Las características asignadas del resistor de carga de volcado y los semiconductores de potencia de horquilla determinan la energía que puede disiparse. Normalmente, la potencia nominal para un periodo de 1 a 5 segundos está en los criterios de diseño.

- 15 En el circuito de ACRDCL, puede realizarse una disposición similar tal como se representa en la figura 11b, en la que la carga de volcado se coloca entre la fuente de CC y el circuito de fijación. Alternativamente, la carga de volcado puede colocarse entre el circuito de fijación y circuito de inversor. La funcionalidad de la válvula de enlace resonante se integra en el inversor.

- 20 En la figura 12 se muestra un ejemplo de un circuito para superar la conexión en serie de los semiconductores de potencia de horquilla. La carga de volcado y la horquilla se integran en los condensadores de enlace de CC en unidades conectadas en serie. De esta manera, la tensión de unidad puede mantenerse a un nivel en el que no se requiere la conexión en serie de semiconductores de potencia.



**REIVINDICACIONES**

1. Convertidor de potencia de alta tensión que comprende varias válvulas de conmutación controlables, comprendiendo cada válvula de conmutación una pluralidad de unidades de conmutación conectadas en serie, caracterizado porque el convertidor de potencia de alta tensión comprende además
- 5       - una pluralidad de circuitos de unidad de fijación conectados en serie, comprendiendo cada circuito de unidad de fijación un condensador de fijación, un inductor de enlace y una unidad de conmutación de fijación,
- un circuito resonante que comprende los inductores de enlace conectados en serie y un condensador de enlace,
- 10       en el que la unidad de conmutación de fijación en cada uno de la pluralidad de circuitos de unidad de fijación conectados en serie está dispuesta para hacerse funcionar independientemente unos de los otros.
2. Convertidor de potencia de alta tensión según la reivindicación 1, en el que el convertidor de potencia está adaptado para generar niveles de tensión de potencia entre 10 y 50 kV.
3. Convertidor de potencia de alta tensión según la reivindicación 1, en el que cada circuito de unidad de fijación comprende el inductor de enlace conectado en paralelo con una conexión en serie del condensador de fijación y la unidad de conmutación de fijación, en el que la unidad de conmutación de fijación comprende un transistor de potencia semiconductor con un diodo conectado en antiparalelo.
- 15
4. Convertidor de potencia de alta tensión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una unidad de conmutación comprende un transistor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela.
- 20
5. Convertidor de potencia de alta tensión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una unidad de conmutación comprende un tiristor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela.
6. Convertidor de potencia de alta tensión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una válvula de conmutación comprende una primera y una segunda unidad de conmutación, en el que la primera unidad de conmutación comprende un transistor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela, y en el que la segunda unidad de conmutación comprende un tiristor y un diodo acoplados en una conexión antiparalela, estando los módulos de conmutación primero y segundo conectados en serie.
- 25
7. Convertidor de potencia de alta tensión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el condensador de enlace está formado por condensadores de enlace distribuidos.
- 30
8. Convertidor de potencia de alta tensión según la reivindicación 7, en el que al menos una unidad de conmutación comprende un condensador de enlace distribuido.
9. Convertidor de potencia de alta tensión según la reivindicación 7, en el que cada unidad de conmutación comprende un condensador de enlace distribuido.
- 35
10. Convertidor de potencia de alta tensión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una pluralidad de circuitos de disipación de energía conectados en serie.
11. Convertidor de potencia de alta tensión según la reivindicación 10, en el que cada circuito de disipación de energía comprende un interruptor de horquilla y una carga de volcado.
- 40
12. Generador de turbina eólica de alta tensión que comprende un convertidor de potencia de alta tensión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
13. Planta de energía eólica que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica de alta tensión según la reivindicación 12.

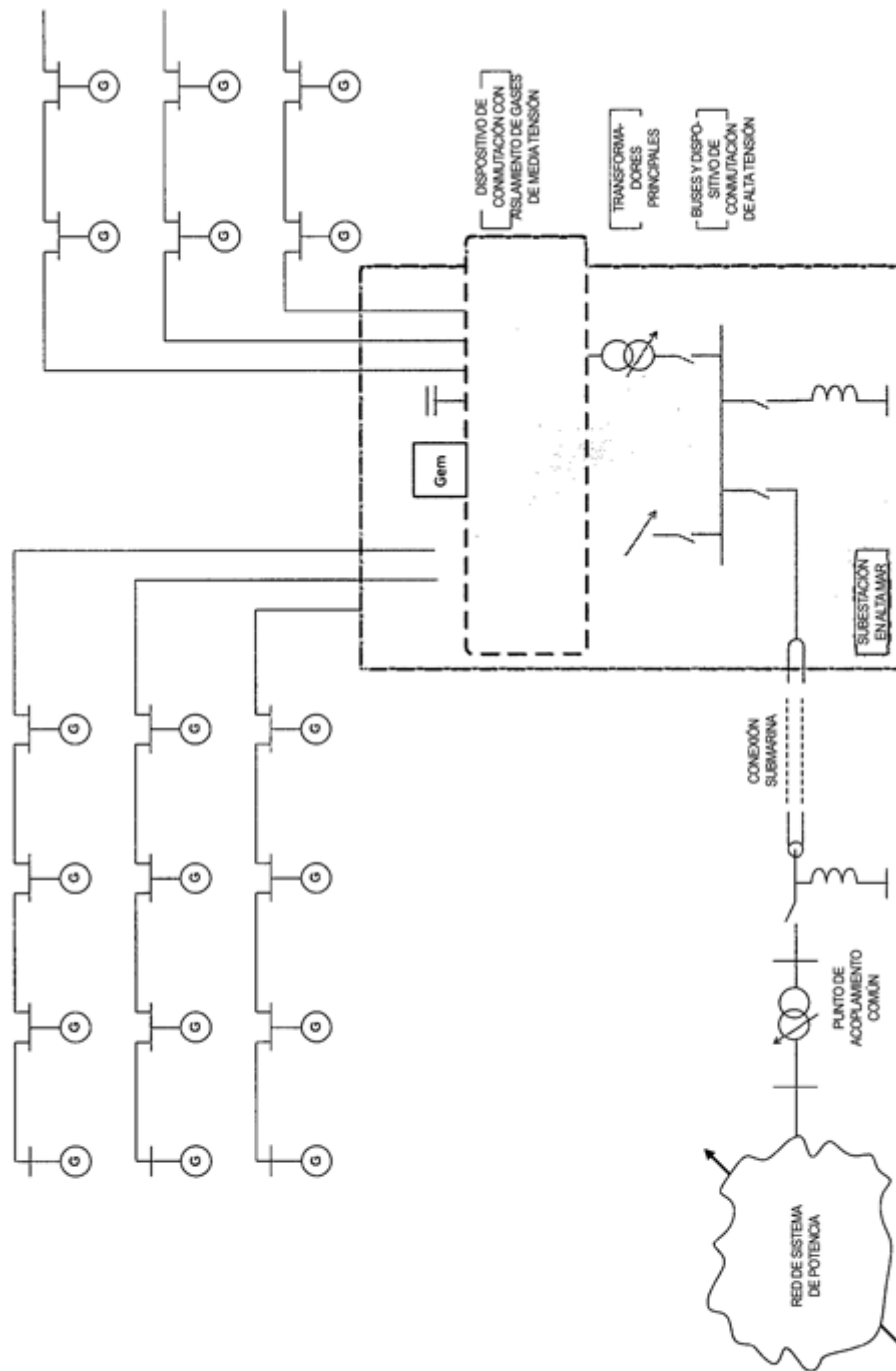
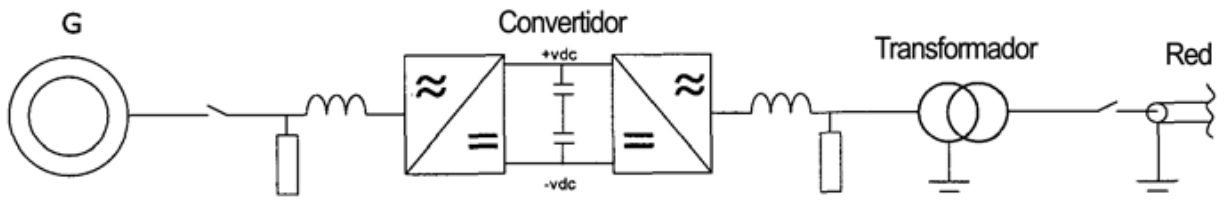
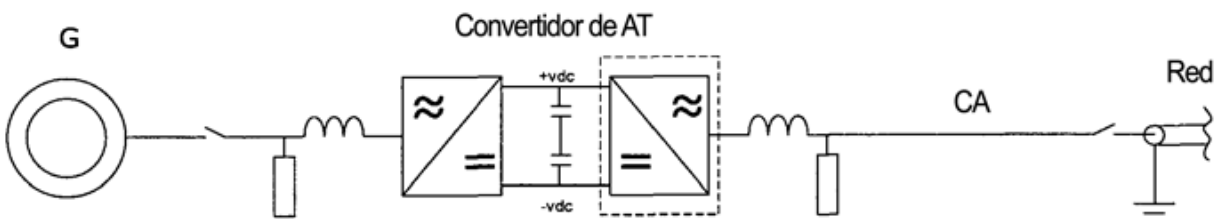


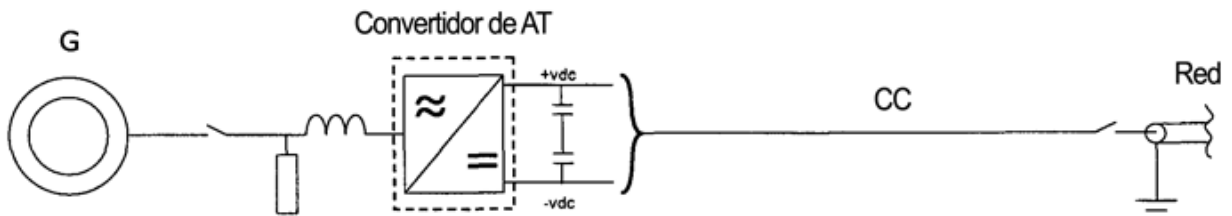
Fig. 1  
(Técnica anterior)



a)  
(Técnica anterior)



b)



c)

Fig. 2

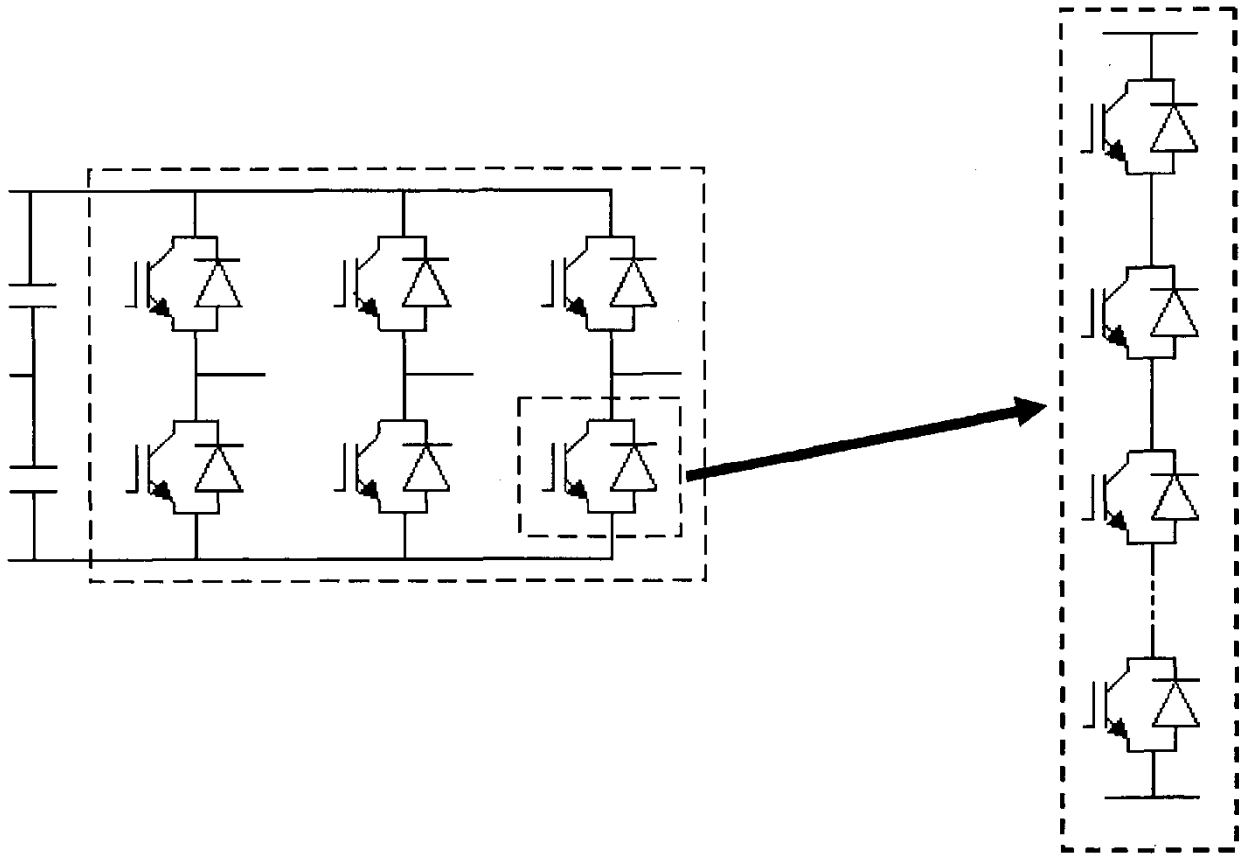
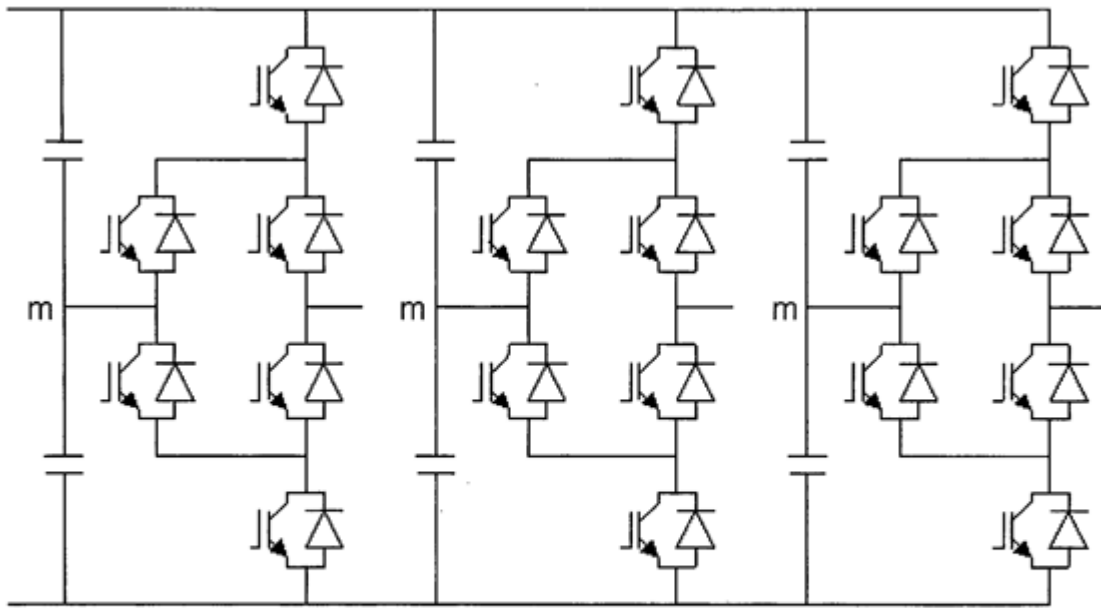
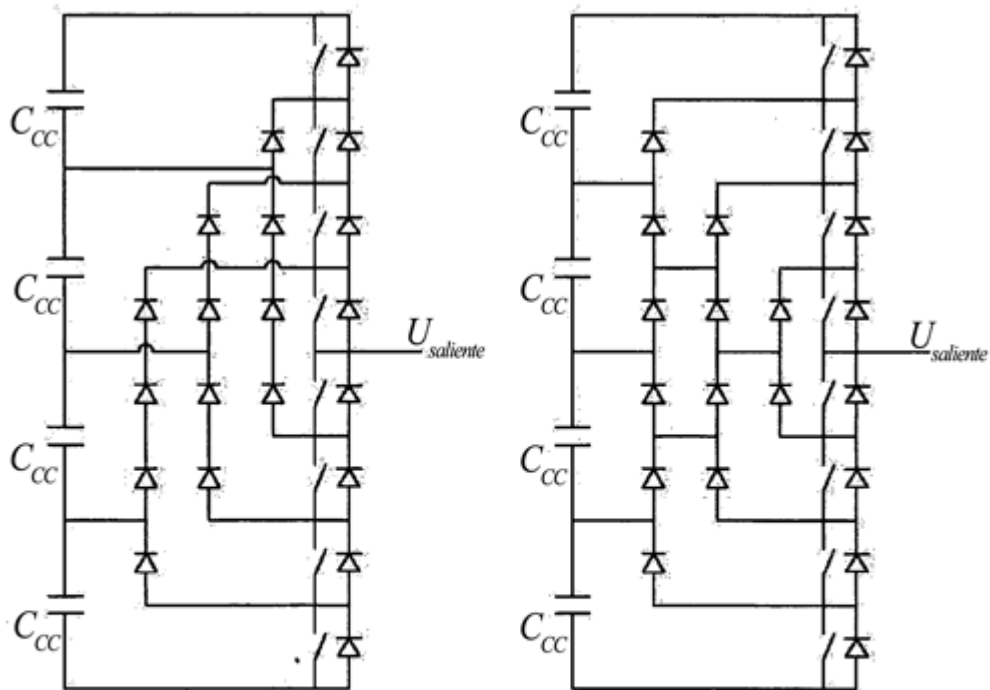


Fig. 3



a)



b)

Fig. 4

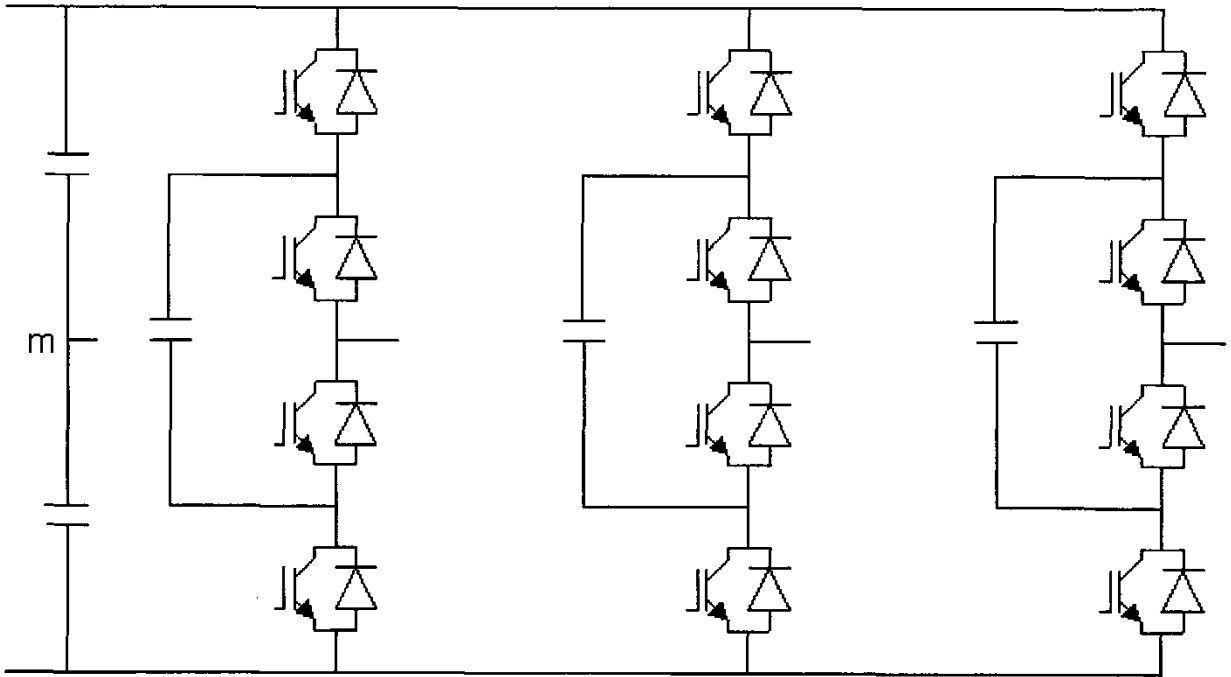


Fig. 5

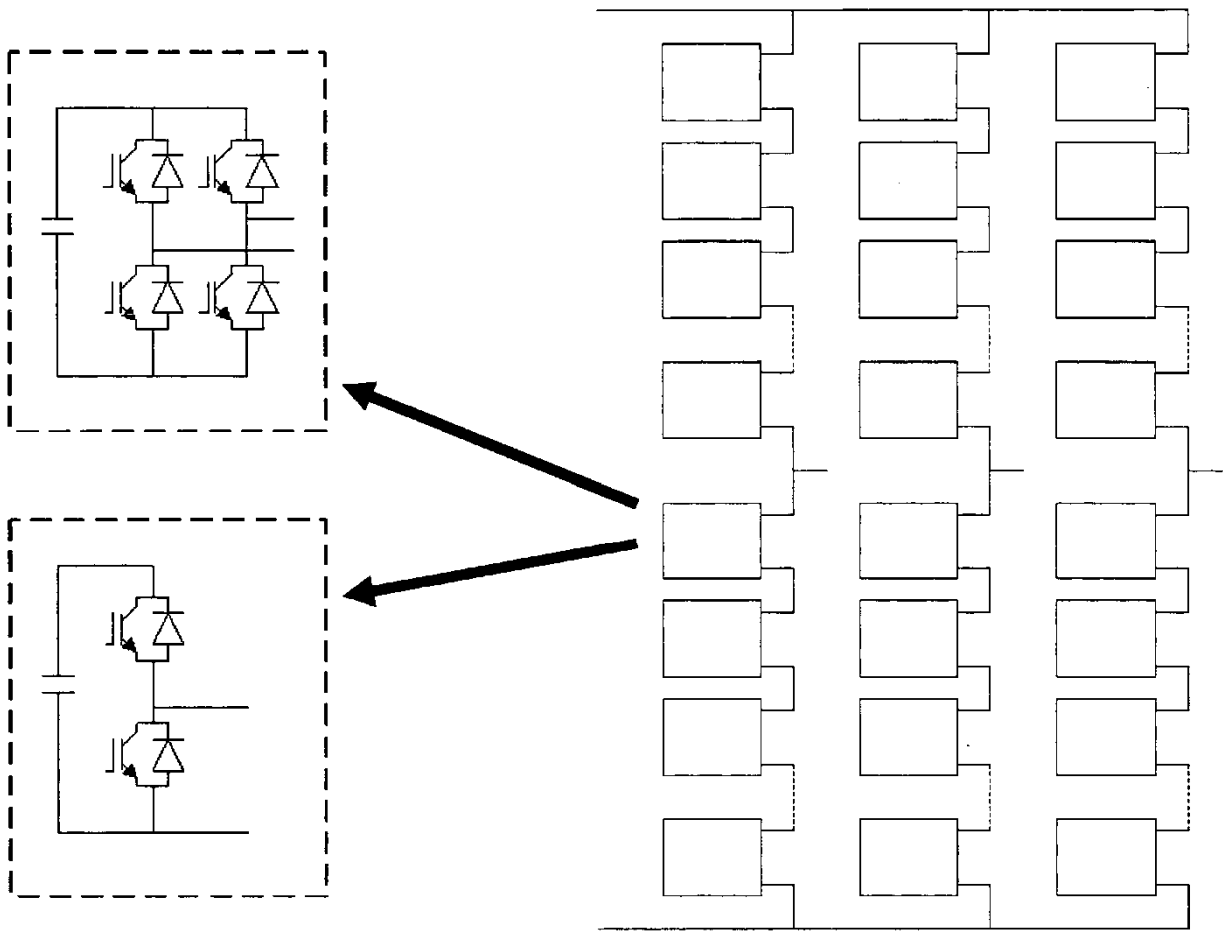
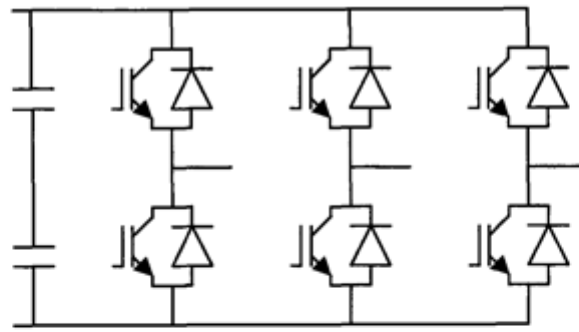
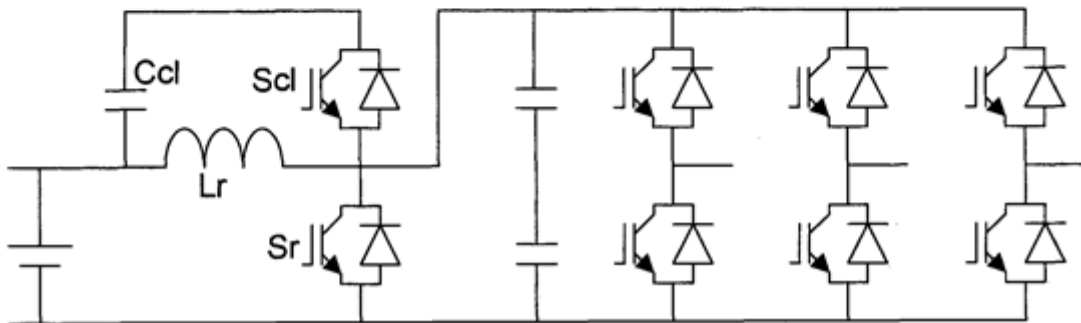


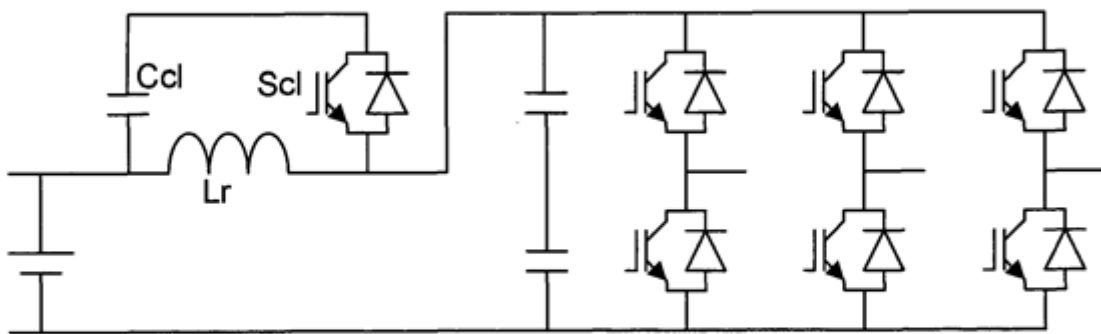
Fig. 6



a)  
(Técnica anterior)



b)  
(Técnica anterior)



c)  
(Técnica anterior)

Fig. 7



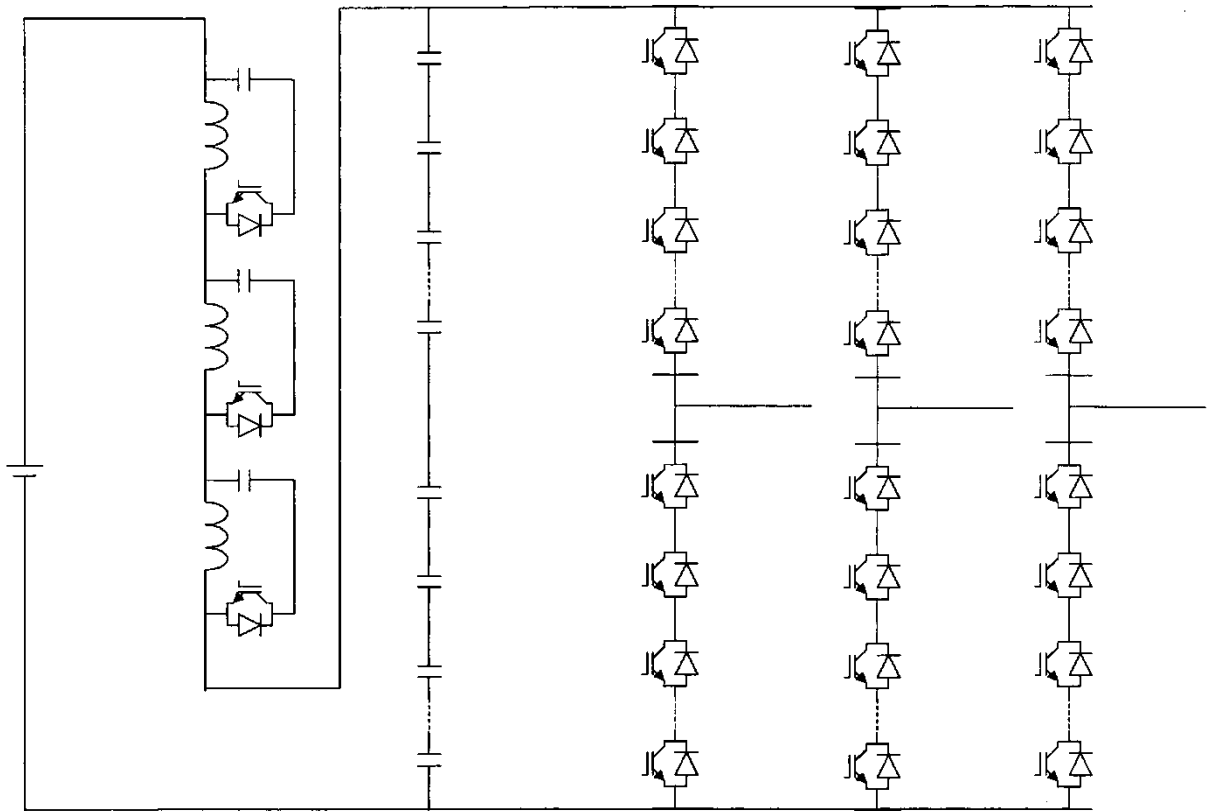


Fig. 8

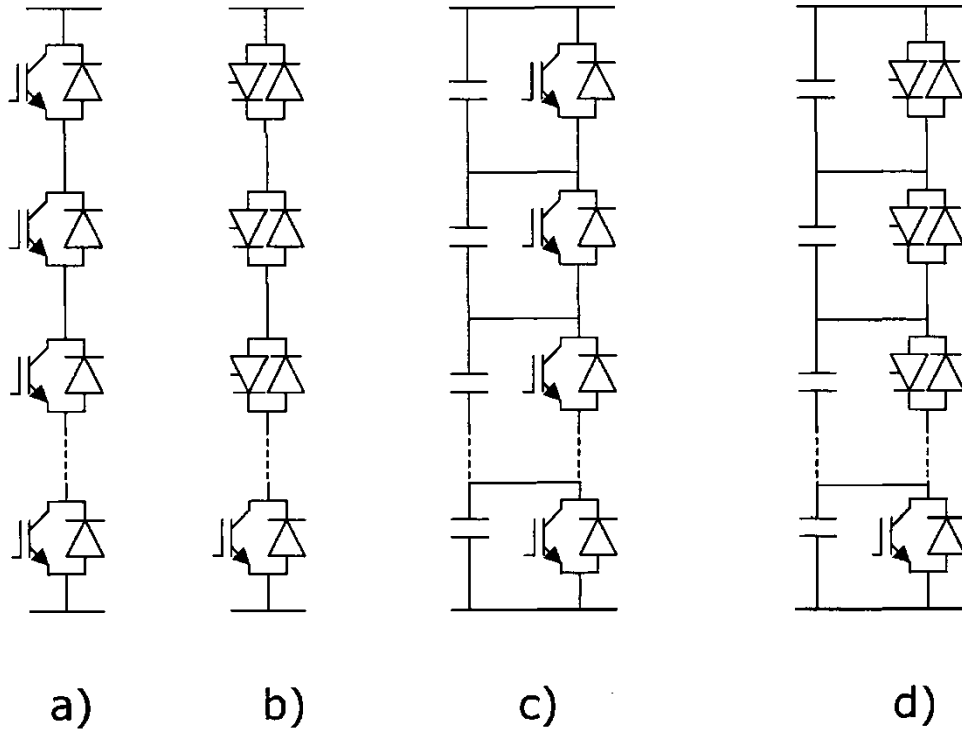


Fig. 9

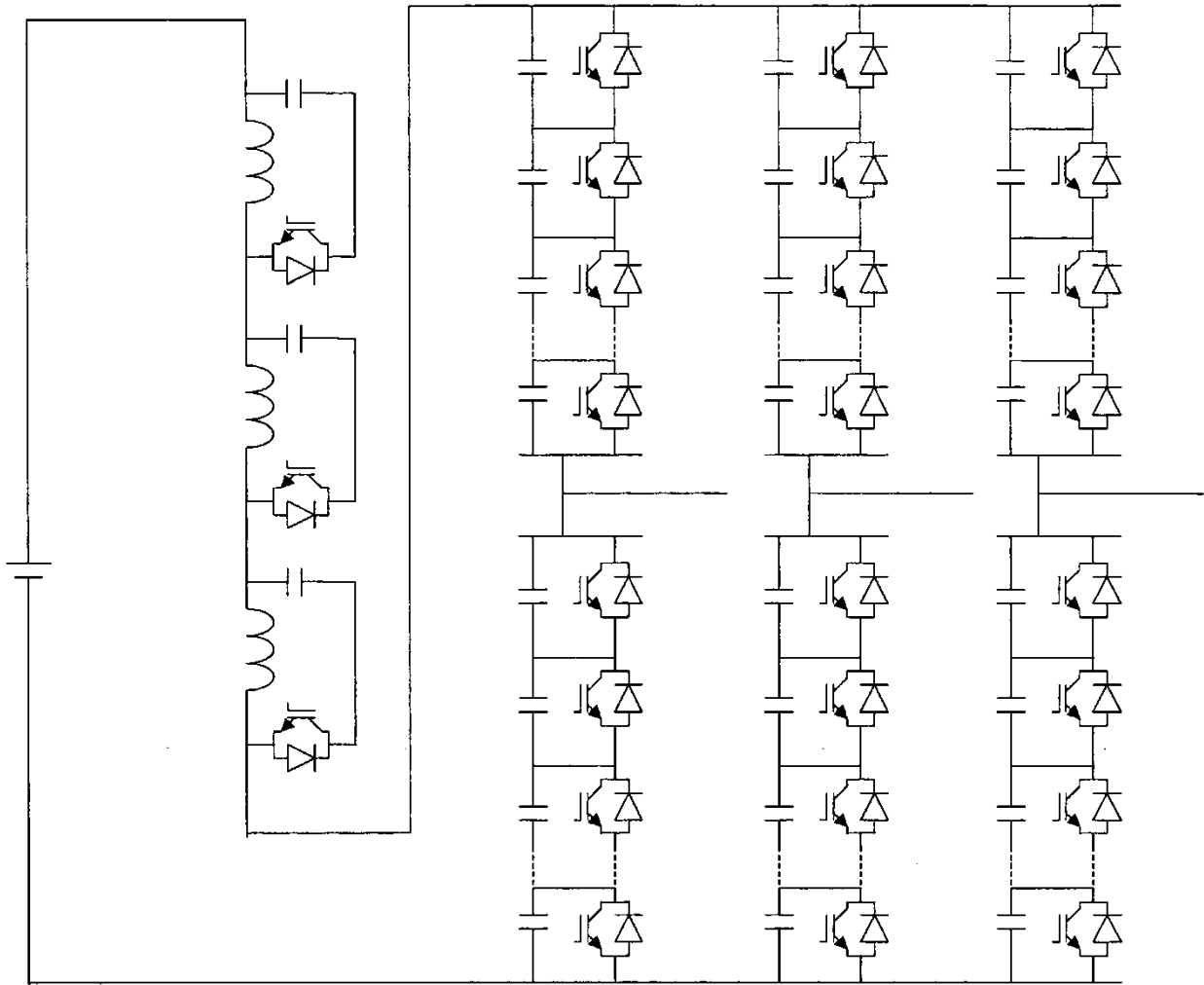
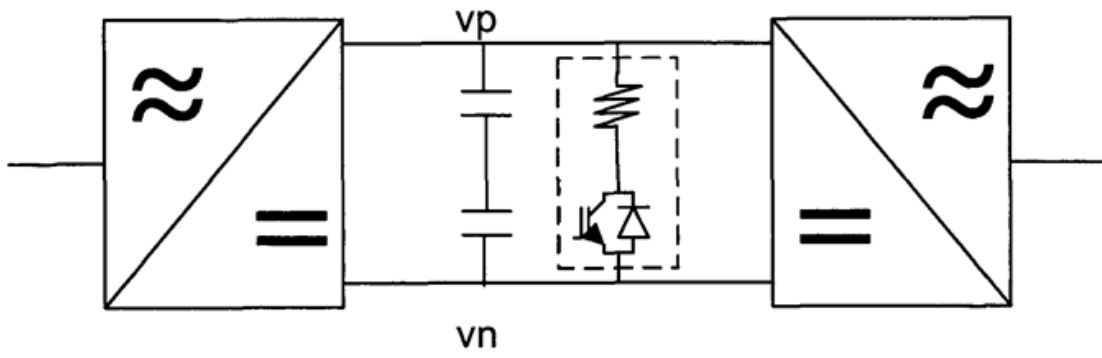
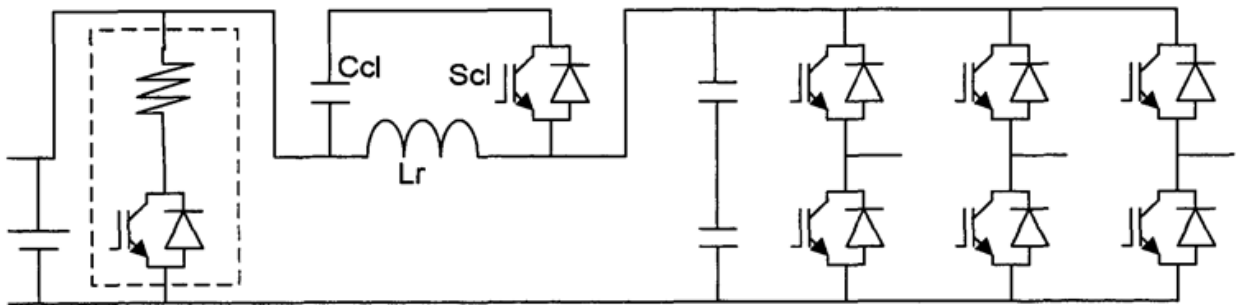


Fig. 10



a)  
(Técnica anterior)



b)

Fig. 11

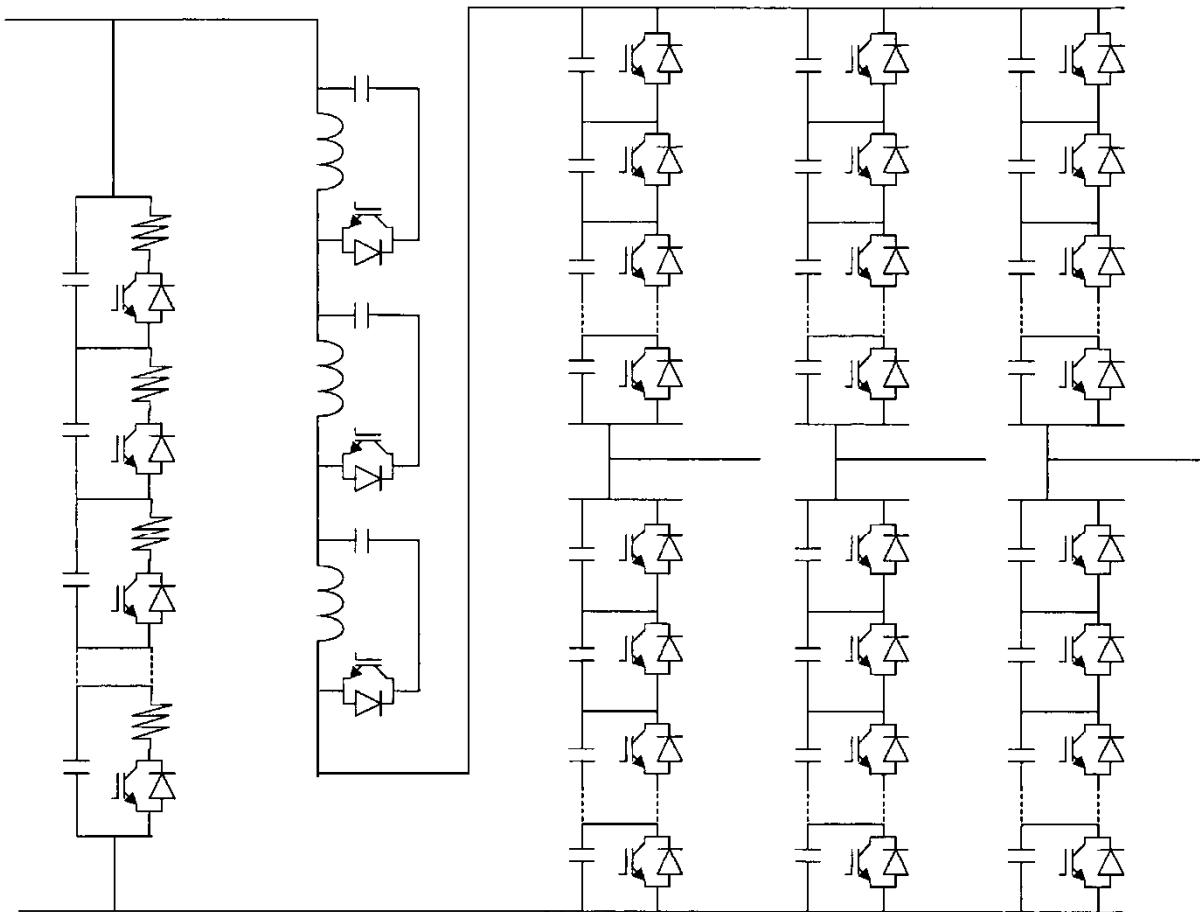


Fig. 12