



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 346 772**

51 Int. Cl.:
H02M 7/162 (2006.01)
H02M 7/219 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05823456 .8**
96 Fecha de presentación : **16.12.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1836763**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.09.2007**

54 Título: **Convertidores matriciales.**

30 Prioridad: **16.12.2004 GB 0427626**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.10.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.10.2010

73 Titular/es: **Converteam UK Ltd.**
Boughton Road
Rugby, Warwickshire CV21 1BU, GB

72 Inventor/es: **Crane, Allan, David**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

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

Convertidores matriciales.

5 **Campo de la invención**

La presente invención versa acerca de convertidores matriciales, y en particular acerca de convertidores matriciales que pueden usarse para formar una primera etapa de un convertidor de corriente de dos etapas, o usarse como una fuente de alimentación de una sola etapa o de múltiples etapas. El convertidor de corriente de dos etapas puede usarse para conectar un motor de velocidad variable a una red de suministro, por ejemplo. El convertidor matricial también puede usarse para alimentar una carga de cc o para acondicionar la energía que se vuelve a suministrar a la red eléctrica o red de suministro.

15 **Antecedentes de la invención**

Los convertidores matriciales se están convirtiendo en una forma cada vez más popular de proporcionar una conversión directa de corriente para motores de velocidad variable y fuentes de alimentación. En su forma más básica, un convertidor matricial consiste en un conjunto de interruptores que están dispuestos de tal forma que cualquiera de entre varias líneas de entrada puede ser conectada con cualquiera de entre varias líneas de salida en una configuración predeterminada. En la Figura 1 se muestra un convertidor matricial convencional de una sola etapa. El convertidor matricial tiene tres líneas de entrada etiquetadas E1, E2 y E3 de una red de suministro trifásica de ca, y tres líneas de salida etiquetadas S1, S2 y S3 para suministrar una tensión trifásica de salida de ca a una carga. Nueve interruptores bidireccionales I1 a I9 permiten que cualquiera de las líneas E1, E2 y E3 de entrada se conecte con cualquiera de las líneas S1, S2 y S3 de salida.

Los interruptores se implementan usando dispositivos semiconductores y pueden ser bidireccionales, de modo que pueda usarse un convertidor matricial de una sola etapa para aplicaciones tanto de motorización como de generación. Una implementación común de interruptores bidireccionales usa un par de diodos de recuperación rápida (FRD) conectados en serie en oposición y un par de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) conectados entre sí de forma antiparalela con los diodos. Los IGBT pueden conectarse conjuntamente en una disposición de colector común (Figura 2a) o de emisor común (Figura 2b). En lugar de los IGBT, pueden usarse otros dispositivos de estado sólido, como los transistores de efecto de campo de metal óxido semiconductor (MOSFET), los tiristores conmutados por puerta integrada (IGCT), los tiristores controlados por MOS (MCT) y los tiristores de apagado por puerta (GTO). A veces también es conveniente usar un dispositivo semiconductor que tiene una capacidad de bloqueo inverso, como los transistores bipolares de puerta aislada y bloqueo inverso (RB-IGBT).

La forma de onda de la tensión trifásica de ca de salida suele crearse usando modulación por anchura del impulso. La modulación por anchura del impulso se describe con más detalle más abajo en relación con el convertidor matricial de la presente invención, pero, en términos de la Figura 1, implica en esencia conectar cada una de las líneas S1-S3 de salida con cada una de las líneas E1-E3 de entrada en una secuencia particular y durante lapsos temporales preseleccionados. Por lo tanto, la tensión trifásica de salida de ca está compuesta de partes de la tensión trifásica de entrada. Los interruptores I1-I9 normalmente se controlan para que se abran y se cierran de acuerdo a una estrategia de modulación particular.

Uno de los problemas fundamentales de los convertidores matriciales es la falta de rutas de libre circulación. Por lo tanto, la operación de los interruptores debe controlarse de manera meticulosa. Si una línea de salida se conecta a dos o más líneas de entrada al mismo tiempo, se causará un cortocircuito, y la gran corriente resultante puede dañar seriamente el convertidor matricial, o incluso destruirlo. Por otra parte, si no se conecta ninguna línea de salida a ninguna de las líneas de entrada, no hay ruta alguna para la carga de la corriente de inducción, y esto causará un gran exceso de tensión. Se apreciará que los interruptores semiconductores disponibles en la actualidad no pueden conectarse y desconectarse con el grado de precisión necesario y, por lo tanto, es imposible evitar los circuitos cortos y abiertos en las líneas de salida del convertidor matricial sin usar alguna forma ordenada de conmutación de la corriente. Se describe una posible estrategia de conmutación en cuatro etapas en Dr Wheeler, P.; Dr Clare, J.; Dr Empringham, L. "Bidirectional Switch Commutation for Matrix Converters" (EPE '99, Lausana). Este problema se aborda en el convertidor matricial según la presente invención.

También es posible usar un convertidor matricial como rectificador para proporcionar una tensión de salida de cc para una carga. La patente estadounidense 6.166.930, de la Otis Elevator Company, describe un convertidor matricial que se usa para conectar una tensión trifásica de entrada de ca directamente a un motor de ascensor de cc. El convertidor matricial tiene tres líneas de entrada para recibir la tensión trifásica de entrada de ca y dos líneas de salida para suministrar la tensión de salida de cc a los devanados inductores de cc del motor de ascensor. Seis interruptores bidireccionales implementados usando IGBT permiten que cualquiera de las tres líneas de entrada se conecte a cualquiera de las dos líneas de salida y son controlados de forma secuencial usando modulación por anchura del impulso para proporcionar la forma de onda requerida a la tensión de cc en los terminales de entrada del motor de ascensor. El motor de ascensor se usa para accionar una polea a la que están sujetos un camarín de ascensor y un contrapeso. El motor de ascensor es capaz en modo de regeneración, por ejemplo, cuando el camarín del ascensor desacelera, cuando el camarín del ascensor asciende con una carga que es menor que la carga normal y cuando el camarín del ascensor desciende con una carga que es mayor que la carga normal. Los interruptores bidireccionales permiten que la corriente

fluya en cualquiera de las dos direcciones, de ca a cc cuando el motor del ascensor está en funcionamiento normal (modo de motorización), o de cc a ca en modo de regeneración. Los interruptores bidireccionales también permiten que la corriente fluya ya sea con polaridad positiva o negativa de tensión de cc.

Aunque los convertidores matriciales convencionales se usan normalmente como convertidor de corriente de una sola etapa, también pueden usarse como parte de un convertidor de corriente de dos etapas. Klumpner, C.; Blaabjerg, F. "Two stage direct power converters: an alternative to the matrix converter" (IEE Seminar, Matrix Converts, 1 de abril de 2003, Austin Court), describe, con referencia a la Figura 3(b), un convertidor directo de corriente de dos etapas que consiste en un convertidor matricial que se usa como etapa de rectificación, y una etapa de inversión, en la que se conectan entre sí un conjunto de IGBT y de FRD para formar un inversor de una fuente de tensión (VSI). Entre los extremos del enlace de cc del convertidor de dos etapas se extiende un protector electrónico de sobrecargas consistente en un diodo y un condensador en serie. Esto no es una ruta de libre circulación.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona un convertidor matricial que comprende:

tres líneas con tensión de ca;

dos líneas con tensión de cc;

un primer interruptor conectado entre una primera de las tres líneas de tensión de ca y una primera de las dos líneas de tensión de cc, un segundo interruptor conectado entre una segunda de las tres líneas de tensión de ca y la primera de las dos líneas de tensión de cc, un tercer interruptor conectado entre una tercera de las tres líneas de tensión de ca y la primera de las dos líneas de tensión de cc, un cuarto interruptor conectado entre la primera de las tres líneas de tensión de ca y una segunda de las dos líneas de tensión de cc, un quinto interruptor conectado entre la segunda de las tres líneas de tensión de ca y la segunda de las dos líneas de tensión de cc, y un sexto interruptor conectado entre la tercera de las tres líneas de tensión de ca y la segunda de las dos líneas de tensión de cc, de tal modo que cada una de las tres líneas con tensión de ca pueda conectarse a una de las dos líneas con tensión de cc cuando se cierra el interruptor asociado; y

una ruta de libre circulación entre las dos líneas con tensión de cc.

El convertidor matricial puede usarse como la primera etapa en un convertidor de corriente de dos etapas que incluye una etapa de inversión. El convertidor matricial también puede usarse para alimentar una carga de cc o para acondicionar la energía que se vuelve a suministrar a la red eléctrica o red de suministro.

Preferentemente, la etapa inversora del convertidor de corriente de dos etapas es un inversor de una fuente de tensión (VSI) o un inversor de una fuente de corriente. Sin embargo, se apreciará fácilmente que también puede usarse cualquier otro inversor adecuado, dependiendo de la aplicación particular. Tal inversor también puede actuar como rectificador con fines de regeneración. Preferentemente, el convertidor de corriente también incluye un filtro de enlace de cc conectado entre los extremos de las líneas con tensión de cc del convertidor matricial, y un filtro de la línea de ca.

El convertidor de corriente de dos etapas puede usarse para conectar un motor de velocidad variable a una red de suministro. Por ejemplo, puede suministrarse al convertidor matricial una tensión trifásica de entrada de ca de frecuencia fijada, procedente de la red eléctrica o red de suministro. El convertidor matricial rectifica la tensión trifásica de entrada de ca, y la tensión resultante de salida de cc es filtrada por el filtro de enlace de cc y suministrada a la etapa inversora. A continuación, puede controlarse la etapa inversora para que suministre una tensión de salida de ca de frecuencia variable al motor de velocidad variable.

En otra aplicación, el convertidor matricial puede usarse para conectar un generador de velocidad variable a la red eléctrica o red de suministro. El generador puede ser accionado por un motor o una turbina primarios. Se apreciará de inmediato que la tensión y la frecuencia de la red eléctrica o red de suministro deben regularse para que se mantengan dentro de límites precisos. Por lo tanto, el convertidor matricial puede usarse para convertir la tensión variable de salida de cc del inversor responsable de la regulación del generador para que se atenga a estos límites precisos. Así, el convertidor matricial puede usarse para suministrar una corriente de ca de baja distorsión a una red existente de suministro activada (activada por otro sistema generador de energía) para aportar energía a una red eléctrica o red de suministro de grandes dimensiones. De manera alternativa, el convertidor matricial puede usarse como única fuente de suministro de energía a una red eléctrica o red de suministro convirtiendo la corriente del enlace de cc procedente de un generador en una fuente de alimentación con una tensión y una corriente de baja distorsión que se atiene a estos límites precisos. Pueden funcionar simultáneamente varios convertidores matriciales y generadores tales para proporcionar un suministro eléctrico de elevada calidad.

Se apreciará con facilidad que podría considerarse que un convertidor matricial que esté configurado para funcionar únicamente en el modo de generación para suministrar corriente del enlace de cc de un generador a la red eléctrica o red de suministro es idéntico a un inversor de una fuente de corriente. La importancia de la presente invención está en que el convertidor matricial es capaz de regular el flujo bidireccional de la corriente mientras retiene una tensión

unidireccional del enlace de cc, es decir, su flujo de corriente de cc es bidireccional. El inversor convencional de una fuente de corriente es capaz de regular el flujo bidireccional de corriente permitiendo que se invierta la tensión de su terminal de cc, es decir, su flujo de corriente de cc es unidireccional. La tensión unidireccional de cc en el convertidor matricial según la presente invención se usa específicamente para permitir que la ruta de libre circulación proporcione beneficios.

En otra aplicación adicional, el convertidor matricial puede usarse de la misma manera que se ha descrito en lo que antecede, pero con el beneficio adicional de ser capaz de funcionar en un modo de motorización. En otras palabras, puede hacerse funcionar al generador como un motor alimentado por la red eléctrica o red de suministro. La capacidad de motorización del convertidor matricial puede ser útil con fines de puesta en servicio y de verificación, en las que un generador tiene que girar sin requerir que se suministre energía por parte de un motor o una turbina primarios. El modo de motorización también puede usarse para permitir que el generador se use como un motor para poner en marcha el motor primario o para hacer girar un motor primario con fines de puesta en servicio y de verificación.

Aunque el convertidor matricial según la presente invención incluye una ruta de libre circulación entre las dos líneas de tensión de cc, funciona de manera similar a los convertidores matriciales convencionales, porque los interruptores son controlados para que se abran y se cierren de forma secuencial usando modulación por anchura del impulso, de tal modo que cada una de las tres líneas con tensión de ca pueda conectarse con las dos líneas con tensión de cc, y ser aislada de las mismas.

Preferentemente, la ruta de libre circulación incluirá un diodo. Sin embargo, en vez del diodo, la ruta de libre circulación puede incluir un tiristor o cualquier otro dispositivo adecuado de bloqueo inverso, como un transistor bipolar de puerta aislada y bloqueo inverso (RB-IGBT) o un tiristor de apagado por puerta y bloqueo inverso (RB-GTO), para que la ruta de libre circulación pueda ser conectada (o habilitada) en ciertos momentos durante el funcionamiento del convertidor de corriente y desconectada (o deshabilitada) en otros momentos.

La adición de la ruta de libre circulación representa una novedad significativa con respecto a los convertidores matriciales convencionales y proporciona un “quinto estado” que se añade a los tres estados proporcionados por la conexión de cada una de las tres líneas con tensión de ca a las dos líneas con tensión de cc en cualquiera de las dos polaridades, y al cuarto estado proporcionado por la conexión de ambas líneas con tensión de cc a la misma línea con tensión de ca. En el “quinto estado”, se accionan todos los interruptores matriciales para que estén abiertos, de tal modo que las líneas con tensión de cc no estén conectadas con ninguna de las líneas con tensión de ca. En lugar de provocar una gran tensión excesiva, se permite que la carga de la corriente de inducción fluya por la ruta de libre circulación. Si el convertidor matricial se usa para aplicaciones de motorización, en las que la tensión de salida de cc es modulada por anchura del impulso hasta un nivel más bajo, el “quinto estado” puede usarse durante una proporción mayor de tiempo, y esto da como resultado una reducción significativa en la disipación y un aumento en la eficiencia en comparación con los convertidores matriciales convencionales, puesto que la ruta de libre circulación tiene pérdidas de conducción menores. Otra ventaja del “quinto estado” es que se reduce la tensión del modo común de la modulación por anchura del impulso.

Los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto pueden ser unidireccionales. Esto permite que el convertidor matricial se use ya sea para aplicaciones de motorización (es decir, en las que se suministra una tensión trifásica de entrada de ca a las líneas con tensión de ca) o para aplicaciones de generación (es decir, en las que se suministra una corriente de entrada de cc a las líneas de tensión de cc), pero no para ambas a la vez. Para las aplicaciones de motorización, el convertidor matricial rectifica la tensión trifásica de entrada de ca y suministra una tensión de salida de cc a la etapa inversora del convertidor de corriente. Para las aplicaciones de fuente de alimentación, el convertidor matricial rectifica la tensión trifásica de entrada de ca y suministra una tensión de salida de cc a la carga, por medio de filtros y de otras etapas electrónicas de potencia, según se requiera. Para las aplicaciones de generación, el convertidor matricial invierte la corriente de entrada de cc y suministra una tensión trifásica de salida de ca. El convertidor matricial puede usarse para aplicaciones de generación, pero los beneficios principales de la invención se realizan únicamente cuando el convertidor matricial se usa para aplicaciones de motorización y de fuente de alimentación.

Preferentemente, los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto incluyen un dispositivo semiconductor. El dispositivo semiconductor puede tener capacidades de bloqueo inverso, como en los casos de un RB-IGBT o un RB-GTO. De manera alternativa, los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto pueden incluir un interruptor semiconductor y un diodo en serie. Preferentemente, el interruptor semiconductor es un IGBT, pero se apreciará de inmediato que el interruptor semiconductor también puede ser cualquier otro dispositivo de estado sólido, como, por ejemplo, un transistor de efecto de campo de metal óxido semiconductor (MOSFET), un tiristor conmutado por puerta integrada (IGCT), un tiristor controlado por MOS (MCT) y un tiristor de apagado por puerta (GTO). Cuando se cierra un par de interruptores semiconductores, la corriente puede fluir desde la línea con tensión de ca asociada con el primer interruptor semiconductor a la línea con tensión positiva de cc, y desde la línea con tensión negativa de cc a la línea con tensión de ca asociada con el segundo interruptor semiconductor (aplicaciones de motorización), o desde la línea con tensión positiva de cc a la línea con tensión de ca asociada con el primer interruptor semiconductor y desde la línea con tensión de ca asociada con el segundo interruptor semiconductor a la línea con tensión negativa de cc (aplicaciones de generación), dependiendo de la polaridad del interruptor semiconductor y del diodo.

Los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto también pueden ser bidireccionales. Esto permite que el convertidor matricial sea usado para aplicaciones tanto de motorización como de generación, dependiendo de las circunstancias. Hacer bidireccionales a los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto también permite que la tensión de salida de cc sea de cualquiera de las dos polaridades.

Preferentemente, los interruptores bidireccionales primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto incluyen pares de dispositivos semiconductores. Preferentemente, cada uno de los interruptores incluye un par de diodos conectados en serie en oposición y un par de interruptores semiconductores conectados entre sí de forma antiparalela con los diodos. Preferentemente, los interruptores semiconductores son un IGBT, pero se apreciará de inmediato que los interruptores semiconductores también pueden ser cualquier otro dispositivo de estado sólido, como, por ejemplo un transistor de efecto de campo de metal óxido semiconductor (MOSFET), un tiristor conmutado por puerta integrada (IGCT), un tiristor controlado por MOS (MCT) y un tiristor de apagado por puerta (GTO). El IGBT puede conectarse en lo que se denomina una disposición de emisor común o de colector común. Cuando se cierra un primer interruptor del par de interruptores semiconductores, la corriente puede fluir desde la línea asociada de tensión de ca hasta la línea asociada de tensión de cc a través del primer interruptor semiconductor y del diodo que está conectado de forma antiparalela con el otro interruptor semiconductor. De manera similar, cuando se cierra el otro interruptor semiconductor la corriente puede fluir desde la línea asociada de tensión de cc a través del otro interruptor semiconductor y del diodo que está conectado de forma antiparalela con el primer interruptor semiconductor.

Será evidente de inmediato que los interruptores bidireccionales requieren el doble de dispositivos semiconductores que los interruptores unidireccionales. Sin embargo, esta desventaja es superada normalmente por la mayor versatilidad que puede ofrecer un convertidor matricial dotado de interruptores bidireccionales. Si el convertidor matricial se usa predominantemente (pero no exclusivamente) para aplicaciones ya sea de motorización o de generación, entonces las corrientes nominales del par de interruptores semiconductores y/o del par de diodos pueden ser asimétricas.

El convertidor de corriente puede además incluir una red de ayuda de conmutación (amortiguador) conectada entre las líneas con tensión de cc. El amortiguador puede ser de cualquier tipo adecuado, dependiendo de la aplicación particular. Por ejemplo, el amortiguador puede ser del tipo condensador-resistencia. Toda tensión transitoria de conmutación que se experimente entre los terminales de la ruta de libre circulación también es experimentada por cualquiera de los dispositivos semiconductores que forman parte de los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto. Por lo tanto, solo se precisa un único amortiguador. Esto simplifica el diseño del convertidor de corriente y mejora su eficiencia.

La presente invención también proporciona un procedimiento de conversión de la corriente usando un convertidor matricial descrito en lo que antecede, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

suministrar una muestra momentánea de una tensión de ca a las líneas con tensión de cc, estableciendo con ello una corriente de cc; y

abrir los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto del convertidor matricial para que la corriente de cc fluya por la ruta de libre circulación.

Abrir los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto pone al convertidor matricial en el “quinto estado” mencionado anteriormente. Esta etapa no puede implementarse sin más en convertidores matriciales convencionales, porque si una línea de salida no está conectada con ninguna de las líneas de entrada, no hay ninguna ruta natural de libre circulación para la carga de la corriente de inducción, y esto causará una gran tensión excesiva. En los convertidores matriciales convencionales, es la práctica común emplear un circuito supresor grande y complejo de las sobrecargas de cc para absorber la energía de las sobrecargas asociadas con un evento de supresión de un solo impulso. No es práctico controlar la sobrecarga de eventos de supresión de impulsos repetitivos. Por lo tanto, la adición de una ruta de libre circulación entre las líneas con tensión de cc proporciona una solución a este problema y significa que el convertidor matricial no tiene que valerse de una forma complicada de conmutación de corriente.

La presente invención también proporciona un convertidor de corriente que comprende:

un primer convertidor matricial tal como se ha descrito más arriba; y

un segundo convertidor matricial tal como se ha descrito más arriba;

en el que las tres líneas con tensión de ca del primer convertidor matricial y las tres líneas con tensión de ca del segundo convertidor matricial están conectadas entre sí, y las dos líneas con tensión de cc del primer convertidor matricial y las dos líneas con tensión de cc del segundo convertidor matricial están conectadas entre sí, de tal modo que los convertidores matriciales primero y segundo están dispuestos en paralelo.

Preferentemente, el convertidor de corriente también incluye un filtro de la línea de ca conectado a las líneas con tensión de ca del primer convertidor matricial, y un filtro de la línea de ca conectado a las líneas con tensión de ca del segundo convertidor matricial.

Puede situarse una primera red de ayuda de conmutación (amortiguador) entre las líneas con tensión de cc del primer convertidor matricial y una segunda red de ayuda de conmutación (amortiguador) entre las líneas con tensión de cc del segundo convertidor matricial. Los amortiguadores pueden ser de cualquier tipo adecuado, dependiendo de las circunstancias particulares. Por ejemplo, los amortiguadores pueden ser del tipo condensador-resistencia.

Preferentemente, las líneas de tensión de cc del primer convertidor matricial y las líneas de tensión de cc del segundo convertidor matricial están conectadas a dos líneas comunes con tensión de cc, y, preferentemente, el convertidor de corriente incluye un filtro de enlace de cc conectado entre las líneas comunes con tensión de cc.

Preferentemente, para permitir una degradación grácil si se daña o falla uno de los convertidores matriciales primero y segundo, se proporcionan medios como un disyuntor o fusibles para aislar entre sí de forma selectiva los convertidores matriciales primero y segundo.

Se apreciará de inmediato que el convertidor de corriente no está limitado a un primer convertidor matricial y a un segundo convertidor matricial dispuestos en paralelo. De hecho, pueden disponerse en paralelo tres o más convertidores matriciales. Además, preferentemente, el convertidor de corriente incluye un inversor, que puede ser, por ejemplo, un inversor de una fuente de corriente o un inversor de una fuente de tensión.

Breve descripción de los dibujos

En lo que sigue, se describirán realizaciones ejemplares de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la Figura 1 es un diagrama de un circuito que muestra un convertidor matricial convencional trifásico a trifásico;

la Figura 2a es un diagrama de un circuito que muestra una implementación de interruptores bidireccionales que usan un par de diodos de recuperación rápida (FRD) y un par de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) conectados entre sí de forma antiparalela y con una disposición de colector común;

la Figura 2b es un diagrama de un circuito que muestra una implementación de interruptores bidireccionales que usan un par de diodos de recuperación rápida (FRD) y un par de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) conectados entre sí en serie-paralelo y con una disposición de emisor común;

la Figura 3 es un diagrama de un circuito de un convertidor de corriente de dos etapas que incorpora un convertidor matricial según la presente invención;

la Figura 4 es un diagrama de un circuito de un convertidor matricial según la presente invención que es adecuado para aplicaciones de motorización y de generación;

la Figura 5 es un diagrama de un circuito de un convertidor matricial según la presente invención que es adecuado únicamente para aplicaciones de motorización;

la Figura 6 es un diagrama de un circuito que muestra el flujo de corriente a través de un convertidor matricial cuando las líneas de salida de cc no están conectadas a ninguna de las líneas de entrada de cc (es decir, cuando el convertidor matricial está en el "quinto estado");

la Figura 7 es un diagrama esquemático que muestra cómo se obtiene la tensión diana del convertidor matricial usando técnicas de modulación por anchura del impulso;

la Figura 8 es un diagrama esquemático que muestra cómo se aplican las técnicas de modulación por anchura del impulso en un convertidor matricial convencional;

la Figura 9 es un diagrama esquemático que muestra cómo se aplican las técnicas de modulación por anchura del impulso en un convertidor matricial según la presente invención;

la Figura 10 es un diagrama de un circuito que muestra cómo puede conectarse una red de ayuda de conmutación (amortiguador) entre los extremos de las líneas con tensión de cc del convertidor matricial;

la Figura 11 es un diagrama que muestra la forma de la onda de la corriente de una tensión de entrada de ca suministrada al convertidor matricial;

la Figura 12 es un diagrama que muestra la forma de la onda de la tensión de una tensión de entrada de ca suministrada al convertidor matricial;

la Figura 13 es un diagrama que muestra la forma de la onda de la tensión de la tensión no filtrada de salida de cc proporcionada por el convertidor matricial;

ES 2 346 772 T3

la Figura 14 es un diagrama que muestra la forma de la onda de la tensión de la tensión filtrada de salida de cc proporcionada por el convertidor matricial; y

la Figura 15 es un diagrama de un circuito que muestra como pueden conectarse entre sí en paralelo dos convertidores matriciales según la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

En lo que sigue se explicarán la topología y el funcionamiento de un convertidor matricial según la presente invención con referencia a las Figuras 3 a 6. La Figura 3 muestra un convertidor básico de corriente de dos etapas que incluye un filtro 2 de línea de ca, un convertidor matricial 4, un filtro 6 de enlace de cc y un inversor 8 de una fuente de tensión. Dependiendo de la aplicación particular, en vez del inversor 8 de una fuente de tensión puede usarse cualquier otro tipo adecuado de inversor (tal como, por ejemplo, un inversor de una fuente de corriente). El inversor 8 de una fuente de tensión del convertidor de corriente puede implementarse usando el producto ALSTOM VDM25000, disponible en ALSTOM Power Conversion Limited, Marine and Offshore Division, Boughton Road, Rugby, CV21 1BU, Reino Unido.

El convertidor matricial 4 incluye tres líneas con tensión de ca etiquetadas CA1, CA2 y CA3, y dos líneas con tensión de cc etiquetadas CC1 y CC2. Seis conjuntos de interruptores 10a a 10f permiten que cualquiera de las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca se conecten con cualquiera de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc. Por ejemplo, el conjunto del interruptor 10a puede conectar la primera línea CA1 con tensión de ca a la primera línea CC1 con tensión de cc, el conjunto del interruptor 10b puede conectar la primera línea CA1 con tensión de ca a la segunda línea CC2 con tensión de cc, y así sucesivamente. Los conjuntos de interruptores 10a a 10f pueden ser unidireccionales o bidireccionales, dependiendo de si el convertidor matricial ha de usarse para aplicaciones de motorización o de generación.

En una aplicación de motorización, se suministra una tensión trifásica de entrada de ca a las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca procedente de una red de suministro y es rectificado por el convertidor matricial 4 para proporcionar una tensión de salida de cc en las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc. La tensión de salida de cc es suministrada al inversor 8 de una fuente de tensión, en el que se invierte. La tensión resultante de salida de ca procedente del convertidor de corriente de dos etapas puede ser suministrada a un motor (no mostrado) con fines, por ejemplo, del control de la velocidad.

En una aplicación de generación, se suministra una corriente de entrada de cc a las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc y es invertida por el convertidor matricial 4 para proporcionar una tensión de salida de ca en las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca. Es importante hacer notar que, aunque el convertidor matricial 4 puede usarse para aplicaciones de generación, los principales beneficios de la invención se realizan únicamente durante las aplicaciones de motorización.

Con referencia a la Figura 4, si el convertidor matricial 4 ha de usarse para aplicaciones de motorización y de generación, entonces la corriente tiene que ser capaz de pasar a través de cada conjunto de interruptores 10a a 10f en ambas direcciones. Por lo tanto, cada conjunto de interruptores 10a a 10f contiene un par de dispositivos IGBT 12 en oposición y diodos 14 en una disposición en serie-paralelo.

Si se consideran de forma aislada dos de los conjuntos de interruptores 10c y 10b, entonces puede verse que, para aplicaciones de motorización, si se cierran estos interruptores en particular y la tensión en la segunda línea CC2 con tensión de cc es positiva con respecto a la tensión en la primera línea CC1 con tensión de cc, entonces la corriente puede circular entre las líneas primera y segunda CA1 y CA2 con tensión de ca, y las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc a través de uno de los dispositivos IGBT 12b y uno de los diodos 14a, y a través de uno de los dispositivos IGBT 12c y uno de los diodos 14d, por medio del condensador 16a del filtro de la línea de CA. La ruta de la corriente circulante para las aplicaciones de motorización está indicada por la flecha con forma irregular. Para las aplicaciones de generación, la corriente puede circular entre las líneas primera y segunda CA1 y CA2 con tensión de ca, y las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc a través del otro de los dispositivos IGBT 12a y del otro de los diodos 14c, por medio del condensador 16a del filtro de la línea de CA.

Hacer bidireccionales a los conjuntos de interruptores 10a a 10f también permite que la corriente fluya en ambas direcciones, con una polaridad de la tensión de cc ya sea positiva o negativa en las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc.

Si el convertidor matricial 4 ha de usarse únicamente para aplicaciones de motorización, entonces los conjuntos de interruptores 10a a 10f pueden simplificarse como se muestra en la Figura 5. En este caso, cada conjunto del interruptor contiene únicamente un solo dispositivo IGBT 12 y un diodo 14. La polaridad del dispositivo IGBT 12 y del diodo 14 se escoge para que bloquee la corriente que fluya en la dirección inversa (o de generación). Tal como se muestra en la Figura 5, la tensión de la segunda línea CC2 con tensión de cc siempre será positiva con respecto a la tensión de la primera línea CC1 con tensión de cc. El filtro 2 de la línea de ca incluye tres condensadores 16a, 16b y 16c conectados en triángulo dispuestos entre cada una de las tres líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca. Se apreciará de inmediato que los condensadores también pueden estar conectados entre sí en una disposición de estrella. El filtro 6 del enlace de cc incluye un condensador 18 dispuesto entre las dos líneas CC1 y CC2 con tensión de cc, y un inductor 20 en serie.

ES 2 346 772 T3

La característica principal del convertidor matricial 4 según la presente invención es la adición de una ruta 22 de libre circulación entre las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc. Esta puede ser una ruta conmutada de libre circulación (que, por ejemplo, contenga un tiristor) o, como se muestra, un simple diodo 24 de ruta de libre circulación. El propósito de la ruta 22 de libre circulación es proporcionar un “quinto estado” además de los tres estados proporcionados por la conexión de cada una de las tres líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca a las dos líneas CC1 y CC2 con tensión de cc usando los conjuntos de interruptores 10a a 10f, y del cuarto estado, que es proporcionado por la conexión de ambas líneas CC1 y CC2 con tensión de cc a la misma línea con tensión de ca. Esto se explica de forma óptima con referencia a la Tabla 1, mostrada a continuación. Si el convertidor matricial 4 se está usando para una aplicación de motorización, entonces se apreciará que las dos líneas CC1 y CC2 con tensión de cc (líneas de salida) pueden conectarse a las tres líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca (líneas de entrada) en cualquiera de las combinaciones siguientes.

TABLA 1

CC1	CC2	
CA1	CA2	“primer estado”
CA2	CA1	
CA1	CA3	“segundo estado”
CA3	CA1	
CA2	CA3	“tercer estado”
CA3	CA2	
CA1	CA1	“cuarto estado”
CA2	CA2	
CA3	CA3	
-	-	“quinto estado”

En el “primer estado”, una de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc está conectada a la primera línea CA1 con tensión de ca y la otra de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc está conectada a la segunda línea CA2 con tensión de ca. Por lo tanto, la tensión de salida de cc entre los extremos de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc en ese instante particular se deriva de las tensiones de entrada de ca suministradas a las líneas primera y segunda CA1 y CA2 con tensión de ca.

En el “segundo estado”, una de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc está conectada a la primera línea CA1 con tensión de ca y la otra de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc está conectada a la tercera línea CA3 con tensión de ca. Por lo tanto, la tensión de salida de cc entre los extremos de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc en ese instante particular se deriva de las tensiones de entrada de ca suministradas a las líneas primera y tercera CA1 y CA3 con tensión de ca.

En el “tercer estado”, una de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc está conectada a la segunda línea CA2 con tensión de ca y la otra de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc está conectada a la tercera línea CA3 con tensión de ca. Por lo tanto, la tensión de salida de cc entre los extremos de las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc en ese instante particular se deriva de las tensiones de entrada de ca suministradas a las líneas segunda y tercera CA2 y CA3 con tensión de ca.

En el “cuarto estado”, en el que están conectadas las dos líneas CC1 y CC2 con tensión de cc a la misma línea con tensión de ca, no hay salida de tensión, porque las líneas con tensión de cc están mutuamente cortocircuitadas.

El convertidor matricial 4 también proporciona un “quinto estado” en el que las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc no están conectadas a ninguna de las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca. En esta situación, se proporciona a la corriente que fluye en el filtro 6 del enlace de cc una ruta natural a través del diodo 24 de ruta de libre circulación y no hay riesgo alguno de causar una tensión excesiva. La flecha de la Figura 6 representa el flujo de corriente cuando el convertidor matricial está en el “quinto estado”. La corriente que fluye en el filtro 6 del enlace de cc es la previamente establecida en la carga como consecuencia de los otros estados que se aplican a la carga.

En lo que sigue se explicará la manera en la que se produce la forma de onda de la tensión de cc de salida usando técnicas de modulación por anchura del impulso con referencia a las Figuras 7 a 9. La Figura 7 muestra la tensión de ca de entrada trifásica V_{CA1} , V_{CA2} y V_{CA3} suministrada a las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca en el transcurso de un periodo de tiempo y dispuesta simétricamente en torno a la tensión cero V_0 . El área sombreada de la izquierda

ES 2 346 772 T3

representa la técnica de modulación por anchura del impulso que se usaría en un convertidor matricial convencional sin una ruta de libre circulación. El área sombreada de la derecha representa la técnica de modulación por anchura del impulso que se usa en el convertidor matricial 4 con la ruta de libre circulación. Estas técnicas diferentes de modulación por anchura del impulso se muestran con más detalle en las Figuras 8 y 9, respectivamente. En cada caso, el convertidor matricial 4 se está usando para generar una tensión diana V_t de cc entre las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc. La modulación por anchura del impulso se llevará a cabo con una tasa que es considerablemente mayor que la frecuencia de la tensión trifásica de entrada de ca. Las tasas de muestreo para la modulación por anchura del impulso de alrededor de 2 kHz son normales para las tensiones trifásicas de entrada de ca operando a 50 Hz.

Con referencia al área sombreada entre V_{CA1} y V_{CA2} en la Figura 7, el estado V_1 de tensión representa la diferencia entre la tensión V_{CA1} de entrada de ca suministrada a la primera línea CA1 con tensión de ca y la tensión V_{CA3} de entrada de ca suministrada a la tercera línea CA3 con tensión de ca en ese instante particular en el tiempo. De modo similar, el estado V_2 de tensión representa la diferencia entre la tensión V_{CA1} de entrada de ca suministrada a la primera línea CA1 con tensión de ca y la tensión V_{CA2} de entrada de ca suministrada a la segunda línea CA2 con tensión de ca en ese instante particular en el tiempo. La tensión diana V_t es ligeramente menor que el estado V_1 de tensión, por lo que es necesario modular la anchura del impulso entre el estado V_1 de tensión y el estado V_2 de tensión. Por lo tanto, los conjuntos de interruptores se controlan para conectar las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc a las líneas apropiadas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca para que la tensión de salida de cc del convertidor matricial (es decir, las tensiones V_{CC1} y V_{CC2} de salida de cc suministradas por las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc) sea modulada en la anchura del impulso entre los estados V_1 y V_2 de tensión de tal manera que la media en el tiempo sea igual a la tensión diana V_t .

Más en particular, la Figura 8 muestra que la primera línea CC1 con tensión de cc (aquí V_{CC1} se representa mediante la línea gris) debería conectarse con la primera línea CA1 con tensión de ca durante un primer lapso, luego conectarse con la tercera línea CA3 con tensión de ca durante un segundo lapso, luego conectarse con la primera línea CA1 con tensión de ca durante un tercer lapso y así sucesivamente. La segunda línea CC2 (aquí V_{CC2} se representa mediante la línea negra) debería conectarse con la segunda línea CA2 con tensión de ca durante un primer lapso, luego conectarse con la primera línea CA1 con tensión de ca durante un segundo lapso, luego conectarse con la segunda línea CA2 con tensión de ca durante un tercer lapso y así sucesivamente. La secuencia temporal para la modulación por anchura del impulso puede representarse por medio de la Tabla 2, mostrada a continuación.

TABLA 2

	Color de la línea	Lapso (1)	Lapso (2)	Lapso (3)
V_{CC1}	Gris	CA1	CA3	CA1
V_{CC2}	Negro	CA2	CA1	CA2

Con referencia al área sombreada entre V_{CA3} y V_0 en la Figura 7, el convertidor matricial 4 de la invención se beneficia del estado adicional V_0 de tensión proporcionado por el diodo 24 de ruta libre de circulación. En este caso, el estado V_1' de tensión representa la diferencia entre la tensión V_{CA3} de entrada de ca suministrada a la tercera línea CA3 con tensión de ca y la tensión V_{CA2} de entrada de ca suministrada a la segunda línea CA2 con tensión de ca en ese instante particular en el tiempo. La tensión diana V_t es ligeramente menor que el estado V_1' de tensión, por lo que es necesario modular la anchura del impulso entre el estado V_1' de tensión y otro estado de tensión. Sin embargo, en este caso puede usarse el estado V_0 de tensión cero abriendo todos los conjuntos de interruptores 10a a 10f y poniendo el convertidor matricial 4 en el "quinto estado". Por lo tanto, los conjuntos de interruptores se controlan para conectar las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc a las líneas apropiadas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca y también a ninguna de las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca para que la tensión de salida de cc del convertidor matricial (es decir, las tensiones V_{CC1} y V_{CC2} de salida de cc suministradas por las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc) del convertidor matricial 4 sea modulada en la anchura del impulso entre los estados V_1' y V_0 de tensión de tal manera que la media en el tiempo sea igual a la tensión diana V_t .

Más en particular, y con referencia a la Figura 9, la secuencia temporal para la modulación por anchura del impulso que usa el "quinto estado" puede ser representada por medio de la Tabla 3, mostrada a continuación.

TABLA 3

	Color de la línea	Lapso (1)	Lapso (2)	Lapso (3)
V_{CC1}	Gris	Sin conexión	CA2	Sin conexión
V_{CC2}	Negro	Sin conexión	CA3	Sin conexión

El diodo volante 24 tiene pérdidas de conducción menores que los conjuntos de interruptores 10a a 10f. Por lo tanto, el uso de la tensión cero V_0 como estado de tensión adicional tiene el efecto de reducir la disipación del dispositivo interruptor y de mejorar la eficiencia del convertidor matricial 4.

5 El uso de la tensión cero V_0 también proporciona una reducción en la tensión de modo común del convertidor matricial 4. La tensión de modo común se expresa de forma sumamente conveniente como $(V_{CC1} + V_{CC2}) / 2$ con respecto a la tensión neutra V_0 , expresión en la que V_{CC1} es la tensión de salida de cc suministrada por la primera línea CC1 con tensión de cc y V_{CC2} es la tensión de salida de cc suministrada por la segunda línea CC2 con tensión de cc. Se apreciará inmediatamente que cuando se hace funcionar el convertidor matricial 4 en el “quinto estado”,
10 de modo que las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc no estén conectadas a ninguna de las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca, y la corriente fluya en el diodo 24 de ruta de libre circulación, que no hay modo de tensión común entre la tensión cero V_0 y las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc. Cuando el convertidor matricial 4 es modulado por anchura del impulso para dar una tensión reducida de salida de cc, el diodo volante 24 es conductor la mayor parte del tiempo y se da a la estrategia de modulación por anchura del impulso la mayor libertad posible para explotar los
15 estados de interrupción que minimizan la tensión de modo común en las líneas CC1 y CC2 con tensión de cc. Esto reduce esfuerzos en el sistema de carga y en el aislamiento del equipo convertidor de corriente. También beneficia la compatibilidad electromagnética (EMC).

El convertidor matricial 4 puede incluir un amortiguador para optimizar las pérdidas de interrupción los valores nominales de los componentes y la EMC. El tipo más simple de amortiguador que puede usarse es, como se muestra en la Figura 10, es del tipo de un condensador-resistencia 30 en serie. Sin embargo, se apreciará de inmediato que con el convertidor matricial 4 puede usarse cualquier tipo adecuado de amortiguador. El principio básico de funcionamiento del amortiguador es como sigue. Cuando conmuta el dispositivo semiconductor, la energía queda atrapada en una inductancia parásita, y esta inductancia se opone a la acción de conmutación en el dispositivo
25 semiconductor desarrollando una tensión transitoria que se opone a cualquier cambio en la corriente. El dispositivo semiconductor experimenta una tensión transitoria correspondiente. Esta tensión transitoria influye mucho en los valores nominales de la tensión máxima del semiconductor y de disipación de la conmutación. Se conecta un amortiguador en paralelo con el dispositivo semiconductor (es decir, en serie con cualquier inductancia parásita cuya corriente esté siendo interrumpida por el dispositivo semiconductor). Cuando conmuta el dispositivo semiconductor, la tensión transitoria hace que la corriente fluya por el amortiguador. El carácter predominantemente capacitivo del amortiguador
30 sirve para moderar el comportamiento transitorio del sistema de una manera que beneficia a los valores nominales del dispositivo semiconductor y a la EMC, mientras que, a la vez, se incurre en una disipación no deseada en el amortiguador.

Con referencia a la Figura 10, se muestra un amortiguador 30 del tipo de condensador-resistencia único conectado en paralelo con el diodo volante 24. No se aplica ningún amortiguador a ninguno de los conjuntos de interruptores 10a a 10f. Esto es así porque, con independencia del estado de conmutación que se aplique al convertidor matricial 4, el amortiguador 30 siempre está en serie con la inductancia parásita. Por lo tanto, el amortiguador 30 proporciona amortiguamiento con independencia de si la conmutación es iniciada por el diodo volante 24, por un único conjunto
40 de interruptor o por la operación simultánea de dos conjuntos de interruptores en el convertidor matricial 4. En otras palabras, los beneficios del amortiguador 30 son experimentados por la totalidad de los conjuntos de interruptores 10a a 10f, además de por el diodo volante 24. Esto mejora la eficiencia del convertidor matricial 4 y simplifica muchísimo el diseño del circuito.

En casos más avanzados, como cuando los conjuntos de interruptores 10a a 10f y el diodo volante 24 consisten en dos o más dispositivos semiconductores conectados en serie, se usan a menudo, de manera convencional, amortiguadores dedicados para un reparto de la tensión en serie. La adición del amortiguador 30 conectado en paralelo con el diodo 24 de ruta de libre circulación significa que pueden reducirse los valores nominales y la complejidad de los amortiguadores dedicados. Por lo tanto, puede emplearse una estrategia de redundancia en serie N+1 sin poner en
50 peligro la eficiencia global del convertidor matricial 4.

Las Figuras 11 y 12 muestran las formas de onda de corriente y de tensión típicas de una tensión trifásica de suministro de ca suministrada a las líneas CA1, CA2 y CA3 con tensión de ca del convertidor matricial 4. La Figura 13 muestra la forma de onda de la tensión no filtrada de salida de cc que es producida por el convertidor matricial 4. Por último, la Figura 14 muestra la forma de onda de la tensión regulada de salida de cc del convertidor matricial 4 después de que haya sido filtrado por el filtro 6 del enlace de cc. Las formas de onda demuestran que el convertidor matricial 4 mantiene el elevado factor de potencia de suministro y la baja distorsión de suministro de los convertidores matriciales convencionales. En las Figuras 11 y 12, la corriente y la tensión se muestran en fase. Esto es deseable en algunas aplicaciones. El convertidor matricial según la presente invención comparte con los convertidores matriciales
60 convencionales una capacidad similar para controlar el factor de potencia de suministro.

En la Figura 15 se muestra un convertidor alternativo de corriente sin inversor. El convertidor de corriente consiste en una primera ruta paralela que incluye un primer filtro 102a de la línea de ca, un primer convertidor matricial 104a y una primera bobina (o inductor) 106a del enlace de cc, y en una segunda ruta paralela que incluye un segundo filtro 102b de la línea de ca, un segundo convertidor matricial 104b y una segunda bobina (o inductor) 106b del enlace de cc. Aunque el convertidor de corriente de la Figura 15 incluye una primera ruta paralela y una segunda ruta paralela, se apreciará fácilmente que el convertidor alternativo de corriente puede incluir cualquier número de rutas paralelas.

El primer convertidor matricial 104a incluye tres líneas con tensión de ca, etiquetadas CA1a, CA2a y CA3a, y dos líneas con tensión de cc, etiquetadas CC1a y CC2a. Seis conjuntos de interruptores 108a a 108f permiten que cualquiera de las líneas CA1a, CA2a y CA3a con tensión de ca se conecten con cualquiera de las líneas CC1a y CC2a con tensión de cc. Por ejemplo, el conjunto del interruptor 108a puede conectar la primera línea CA1a con tensión de ca a la primera línea CC1a con tensión de cc, el conjunto del interruptor 108b puede conectar la primera línea CA1a con tensión de ca a la segunda línea CC2a con tensión de cc, y así sucesivamente. Los conjuntos de interruptores 108a a 108f pueden ser unidireccionales o bidireccionales, dependiendo de si el primer convertidor matricial 104a ha de usarse para aplicaciones de motorización o de generación. Se proporciona un diodo 124a de ruta de libre circulación entre las líneas CC1a y CC2a con tensión de cc. El propósito del diodo 124a de ruta de libre circulación es, como se ha descrito con anterioridad, proporcionar un "quinto estado" para el convertidor matricial 104a.

El primer filtro 102a de la línea de ca incluye tres condensadores 112a, 112b y 112c dispuestos entre cada una de las tres líneas CA1a, CA2a y CA3a con tensión de ca.

El segundo convertidor matricial 104b incluye tres líneas con tensión de ca, etiquetadas CA1b, CA2b y CA3b, y dos líneas con tensión de cc, etiquetadas CC1b y CC2b. Seis conjuntos de interruptores 110a a 110f permiten que cualquiera de las líneas CA1b, CA2b y CA3b con tensión de ca se conecten con cualquiera de las líneas CC1b y CC2b con tensión de cc. Por ejemplo, el conjunto del interruptor 110a puede conectar la primera línea CA1b con tensión de ca a la primera línea CC1b con tensión de cc, el conjunto del interruptor 110b puede conectar la primera línea CA1b con tensión de ca a la segunda línea CC2b con tensión de cc, y así sucesivamente. Los conjuntos de interruptores 110a a 110f pueden ser unidireccionales o bidireccionales, dependiendo de si el segundo convertidor matricial 104b ha de usarse para aplicaciones de motorización o de generación. Se proporciona un diodo 124b de ruta de libre circulación entre las líneas CC1b y CC2b con tensión de cc. El propósito del diodo 124b de ruta de libre circulación es, como se ha descrito con anterioridad, proporcionar un "quinto estado" para el convertidor matricial 104b.

El segundo filtro 102b de la línea de ca incluye tres condensadores 114a, 114b y 114c dispuestos entre cada una de las tres líneas CA1b, CA2b y CA3b con tensión de ca.

Los convertidores matriciales primero y segundo 104a y 104b funcionan de la misma manera que el convertidor matricial descrito más arriba.

Las líneas CA1a, CA2a y CA3a con tensión de ca del primer convertidor matricial 104a y las líneas CA1b, CA2b y CA3b con tensión de ca del segundo convertidor matricial 104b están conectadas a tres líneas CA1c, CA2c y CA3c con tensión común de ca. De modo similar, las líneas CC1a y CC2a de tensión de cc del primer convertidor matricial 104a y las líneas CC1b y CC2b de tensión de cc del segundo convertidor matricial 104b están conectadas a dos líneas CC1c y CC2c con tensión común de cc. Un filtro 116 del enlace de cc incluye un condensador 118 dispuesto entre las dos líneas CC1c y CC2c con tensión común de cc.

En una aplicación de motorización, se suministra una tensión trifásica de entrada de ca a las líneas CA1c, CA2c y CA3c con tensión común de ca procedente de una red de suministro y es rectificadas por el primer convertidor matricial 104a y por el segundo convertidor matricial 104b para proporcionar una tensión de salida de cc en las líneas CC1c y CC2c con tensión común de cc. La tensión de salida de cc es suministrada a un inversor (no mostrado, pero que es, por ejemplo, un inversor de una fuente de tensión), en el que se invierte. La tensión resultante de salida de ca procedente del inversor puede ser suministrada, por ejemplo, a un motor de velocidad variable (no mostrado).

En una aplicación de generación, se suministra una corriente de entrada de cc a las líneas CC1c y CC2c con tensión común de cc y es invertida por los convertidores matriciales 104a y 104b para proporcionar una tensión de salida de ca en las líneas CA1c, CA2c y CA3c con tensión común de ca. Es importante hacer notar que, aunque los convertidores matriciales 104a y 104b pueden usarse para aplicaciones de generación, los principales beneficios de la invención se realizan únicamente durante las aplicaciones de motorización.

Dado que los convertidores matriciales 104a y 104b están conectados a las líneas CA1c, CA2c y CA3c con tensión común de ca y a las líneas CC1c y CC2c con tensión común de cc, y que estas son filtradas por los filtros 102a, 102b de la línea de ca y por el condensador 118, la pérdida de conmutación de la modulación por anchura del impulso de cada convertidor matricial se desacopla de la del otro convertidor matricial. Esto significa que en cualquier momento durante el funcionamiento del convertidor de corriente, uno de los convertidores matriciales primero y segundo puede ser suprimido por impulsos, mientras que el otro convertidor matricial es controlado según una estrategia de modulación por anchura del impulso. En el caso general en el que se proporcionen varias rutas paralelas, a medida que más convertidores matriciales son suprimidos por impulsos, se reduce la disipación causada por las pérdidas de conmutación de la modulación por anchura del impulso, pero aumenta la disipación causada por las pérdidas de conducción de los dispositivos semiconductores. El número de convertidores matriciales que son suprimidos por impulsos y el número de convertidores matriciales que son controlados según una estrategia convencional de modulación por anchura del impulso pueden fijarse para optimizar las pérdidas totales por disipación, maximizando con ello la eficiencia del convertidor de corriente. Cuando funcionan simultáneamente varios convertidores matriciales conectados en paralelo, estarán modulados por la anchura del impulso, estando en fase las tensiones fundamentales y de una manera que permita el reparto de la corriente. Preferentemente, las portadoras de la modulación por anchura del impulso pueden estar desplazadas en fase para minimizar la distorsión de la tensión de suministro. Cuando están suprimidos por impulsos, todos los dispositivos interruptores se mantendrán apagados continuamente, y el convertidor matricial suprimido por

ES 2 346 772 T3

impulsos no llevará corriente alguna en la línea de ca. Los diodos de ruta de libre circulación de los convertidores matriciales suprimidos por impulsos llevarán impulsos de corriente en algunas circunstancias; por ejemplo, cuando hay un bajo tensión de cc en las líneas CC1c y CC2c con tensión común de cc.

Aunque no se muestran, se apreciará fácilmente que pueden proporcionarse medios apropiados de conmutación o de otro tipo para aislar entre sí cada uno de los convertidores matriciales primero y segundo 104a y 104b. En el caso en que uno de los convertidores matriciales primero y segundo 104a y 104b sufra una avería catastrófica, puede ser aislado sin peligro y puede proporcionarse una redundancia paralela convencional N+1. En general, pueden proporcionarse un disyuntor o fusibles para aislar los terminales de ca y/o de cc de uno o más de los convertidores matriciales de un grupo mayor de convertidores matriciales. Por lo tanto, se puede evitar que un convertidor matricial averiado o que funcione indebidamente pueda hacer que los convertidores matriciales que funcionan correctamente no estén disponibles para el servicio, proporcionando un sistema de degradación grácil.

Las portadoras de la modulación por anchura del impulso de los convertidores matriciales 104a y 104b pueden estar desplazadas en fase de tal forma que se optimice la cancelación de fase de la corriente con fluctuaciones en los filtros 102a y 102b de la línea de ca. Por lo tanto, el diseño de los filtros 102a y 102b de la línea de ca puede ser simplificado, y puede minimizarse la EMI. Más en particular, los convertidores matriciales 104a y 104b inyectan impulsos de corriente de una magnitud determinada por medio de la corriente en los inductores 106a y 106b, con una frecuencia de muestreo de la modulación por anchura del impulso, en los filtros 102a y 102b de la línea de ca. En consecuencia, los filtros 102a y 102b de la línea de ca experimentan una fluctuación de la tensión en la frecuencia de muestreo de la modulación por anchura del impulso. Por lo tanto, las corrientes pulsantes pueden estar desplazadas en fase para facilitar la cancelación armónica y para reducir la distorsión en la tensión.

Puede conectarse un único amortiguador (no mostrado, pero que es, por ejemplo, del tipo condensador-resistencia) en paralelo con cada uno de los diodos volantes 124a y 124b. Por lo tanto, cada ruta paralela incluye un único amortiguador. De esta manera, la respuesta transitoria del amortiguador en cada ruta paralela puede desacoplarse de la de los amortiguadores en las otras rutas paralelas. Un resultado de esto es que el convertidor matricial en cualquiera de las rutas paralelas puede ser suprimido por impulsos sin incurrir en las pérdidas de conmutación asociadas con la operación de la modulación por anchura del impulso del convertidor matricial en las otras rutas paralelas. Como se ha mencionado anteriormente, el número de convertidores matriciales que son suprimidos por impulsos y el número de convertidores matriciales que son controlados según una estrategia de modulación por anchura del impulso pueden fijarse según se requiera para optimizar la eficiencia del convertidor de corriente (esta será una solución de compromiso entre las pérdidas por conducción en el semiconductor y las pérdidas totales por conmutación). Por lo tanto, puede emplearse una estrategia de redundancia paralela N+1 sin poner en peligro la eficiencia global del convertidor de corriente.

REIVINDICACIONES

1. Un convertidor matricial (4) que comprende:

tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca;

dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc;

un primer interruptor (10a) conectado entre una primera (CA1) de las tres líneas de tensión de ca y una primera (CC1) de las dos líneas de tensión de cc, un segundo interruptor (10c) conectado entre una segunda (CA2) de las tres líneas de tensión de ca y la primera (CC1) de las dos líneas de tensión de cc, un tercer interruptor (10e) conectado entre una tercera (CA3) de las tres líneas de tensión de ca y la primera (CC1) de las dos líneas de tensión de cc, un cuarto interruptor (10b) conectado entre la primera (CA1) de las tres líneas de tensión de ca y una segunda (CC2) de las dos líneas de tensión de cc, un quinto interruptor (10d) conectado entre la segunda (CA2) de las tres líneas de tensión de ca y la segunda (CC2) de las dos líneas de tensión de cc, y un sexto interruptor (10f) conectado entre la tercera (CA3) de las tres líneas de tensión de ca y la segunda (CC2) de las dos líneas de tensión de cc, en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a a 10f) están controlados para que se abran y se cierren en secuencia usando modulación por anchura del impulso, de tal modo que cada una de las tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca pueda conectarse a una de las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc cuando se cierra el interruptor asociado; y

una ruta (22) de libre circulación entre las dos líneas con tensión de cc que incluye un dispositivo (24) de bloqueo inverso;

en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a-10f) son bidireccionales, de tal modo que el convertidor matricial (4) puede usarse para aplicaciones de motorización en las que se suministra una entrada trifásica de tensión de ca a las tres líneas (CA1-CA3) con tensión de ca desde una red de suministro y se rectifica con el convertidor matricial (4) para proporcionar una tensión de salida de cc en las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc y para aplicaciones de generación, en las que se suministra una tensión de entrada de cc a las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc y se invierte con el convertidor matricial (4) para proporcionar una tensión de salida de ca en las tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca; y

en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a-10f) están controlados usando modulación por anchura del impulso para conectar las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc a las líneas apropiadas (CA1-CA3) con tensión de ca o a ninguna de las líneas (CA1-CA3) con tensión de ca durante una aplicación de motorización, teniendo las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc una polaridad respectiva de tensión de cc, y para conectar las tres líneas (CA1-CA3) con tensión de ca a la línea apropiada (CC1, CC2) con tensión de cc o a ninguna de las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc durante una aplicación de generación con las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc, teniendo las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc la misma polaridad respectiva de tensión de cc, de tal modo que el convertidor matricial (4) es capaz de regular un flujo bidireccional de energía mientras retiene una tensión unidireccional de cc.

2. Un convertidor matricial según la reivindicación 1 en el que el dispositivo de bloqueo inverso es un diodo (24).

3. Un convertidor matricial según la reivindicación 1 en el que la ruta de libre circulación es una ruta de libre circulación conmutada.

4. Un convertidor matricial según la reivindicación 3 en el que el dispositivo de bloqueo inverso es un tiristor.

5. Un convertidor matricial según la reivindicación 3 en el que el dispositivo de bloqueo inverso es un dispositivo semiconductor que tiene prestaciones de bloqueo inverso.

6. Un convertidor matricial según la reivindicación 5 en el que el dispositivo semiconductor es un RB-IGBT.

7. Un convertidor matricial según la reivindicación 5 en el que el dispositivo semiconductor es un RB-GTO.

8. Un convertidor matricial según cualquier reivindicación precedente en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a a 10f) incluyen un interruptor semiconductor (12).

9. Un convertidor matricial según la reivindicación 8 en el que el interruptor semiconductor (12) tiene prestaciones de bloqueo inverso.

10. Un convertidor matricial según la reivindicación 9 en el que el interruptor semiconductor es un RB-IGBT.

11. Un convertidor matricial según la reivindicación 9 en el que el interruptor semiconductor es un RB-GTO.

ES 2 346 772 T3

12. Un convertidor matricial según la reivindicación 8 en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a a 10f) incluyen un par de interruptores semiconductores (12) en oposición y un par de diodos (14) conectados entre sí en una disposición en serie-paralelo.
- 5 13. Un convertidor matricial según la reivindicación 12 en el que las corrientes nominales del par de interruptores semiconductores y/o del par de diodos son asimétricas.
14. Un convertidor de corriente que comprende:
- 10 un convertidor matricial según cualquier reivindicación precedente; y
- un inversor (8).
- 15 15. Un convertidor de corriente según la reivindicación 14 en el que el inversor es un inversor de una fuente de corriente, que actúa como inversor o rectificador.
16. Un convertidor de corriente según la reivindicación 14 en el que el inversor es un inversor de una fuente de tensión, que actúa como inversor o rectificador.
- 20 17. Un convertidor de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16 que comprende además un filtro (6) de enlace de cc conectado entre las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc del convertidor matricial.
- 25 18. Un convertidor de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17 que comprende además un filtro (2) de la línea de ca conectado a las líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca del convertidor matricial.
19. Un convertidor de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18 que comprende además una red de ayuda de conmutación (amortiguador) conectada entre las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc del convertidor matricial.
- 30 20. Un convertidor de corriente según la reivindicación 19 en el que la red (30) de ayuda de conmutación (amortiguador) es del tipo condensador-resistencia.
21. Un convertidor de corriente que comprende:
- 35 un primer convertidor matricial (104a) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13; y
- un segundo convertidor matricial (104b) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13;
- 40 en el que las tres líneas (CA1a, CA2a, CA3a) con tensión de ca del primer convertidor matricial (104a) y las tres líneas (CA1b, CA2b, CA3b) con tensión de ca del segundo convertidor matricial (104b) están conectadas entre sí, y las dos líneas (CC1a, CC2a) con tensión de cc del primer convertidor matricial (104a) y las dos líneas (CC1b, CC2b) con tensión de cc del segundo convertidor matricial (104b) están conectadas entre sí, de tal modo que los convertidores matriciales primero y segundo (104a, 104b) están dispuestos en paralelo.
- 45 22. Un convertidor de corriente según la reivindicación 21 que además comprende un filtro (102a) de línea de ca conectado a las líneas (CA1a, CA2a, CA3a) con tensión de ca del primer convertidor matricial (104a) y un filtro (102b) de línea de ca conectado a las líneas (CA1b, CA2b, CA3b) con tensión de ca del segundo convertidor matricial (104b).
- 50 23. Un convertidor de corriente según las reivindicaciones 21 o 22 que además comprende una primera red de ayuda de conmutación (amortiguador) entre las líneas (CC1a, CC2a) con tensión de cc del primer convertidor matricial (104a), y una segunda red de ayuda de conmutación (amortiguador) entre las líneas (CC1b, CC2b) con tensión de cc del segundo convertidor matricial (104b).
- 55 24. Un convertidor de corriente según la reivindicación 23 en el que las redes de ayuda de conmutación (amortiguadores) son del tipo condensador-resistencia.
- 60 25. Un convertidor de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 24 en el que las líneas (CC1a, CC2a) con tensión de cc del primer convertidor matricial (104a) y las líneas (CC1b, CC2b) con tensión de cc del segundo convertidor matricial (104b) están conectadas a dos líneas comunes (CC1c, CC2c) con tensión de cc y comprenden además un filtro (116) de enlace de cc conectado entre las líneas comunes (CC1c, CC2c) con tensión de cc.
- 65 26. Un convertidor de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 25 que además comprende medios para aislar de forma selectiva entre sí los convertidores matriciales primero y segundo (104a, 104b).

27. Un convertidor de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 26 que además comprende un inversor.

28. Un convertidor de corriente según la reivindicación 27 en el que el inversor es un inversor de una fuente de corriente.

29. Un convertidor de corriente según la reivindicación 27 en el que el inversor es un inversor de una fuente de tensión.

30. Un procedimiento de conversión de corriente que usa un convertidor matricial (4) que comprende tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca; dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc; un primer interruptor (10a) conectado entre una primera (CA1) de las tres líneas de tensión de ca y una primera (CC1) de las dos líneas de tensión de cc, un segundo interruptor (10c) conectado entre una segunda (CA2) de las tres líneas de tensión de ca y la primera (CC1) de las dos líneas de tensión de cc, un tercer interruptor (10e) conectado entre una tercera (CA3) de las tres líneas de tensión de ca y la primera (CC1) de las dos líneas de tensión de cc, un cuarto interruptor (10b) conectado entre la primera (CA1) de las tres líneas de tensión de ca y una segunda (CC2) de las dos líneas de tensión de cc, un quinto interruptor (10d) conectado entre la segunda (CA2) de las tres líneas de tensión de ca y la segunda (CC2) de las dos líneas de tensión de cc, y un sexto interruptor (10f) conectado entre la tercera (CA3) de las tres líneas de tensión de ca y la segunda (CC2) de las dos líneas de tensión de cc, en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a a 10f) están controlados para que se abran y se cierren en secuencia usando modulación por anchura del impulso, de tal modo que cada una de las tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca pueda conectarse a una de las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc cuando se cierra el interruptor asociado; y una ruta (22) de libre circulación entre las dos líneas con tensión de cc que incluye un dispositivo (24) de bloqueo inverso; en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a-10f) son bidireccionales, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

usar el convertidor matricial (4) para aplicaciones de motorización en las que se suministra una entrada trifásica de tensión de ca a las tres líneas (CA1-CA3) con tensión de ca desde una red de suministro y se rectifica con el convertidor matricial (4) para proporcionar una tensión de salida de cc en las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc y para aplicaciones de generación, en las que se suministra una tensión de entrada de cc a las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc y se invierte con el convertidor matricial (4) para proporcionar una tensión de salida de ca en las tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca;

en el que los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a-10f) están controlados usando modulación por anchura del impulso para conectar las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc a las líneas apropiadas (CA1-CA3) con tensión de ca o a ninguna de las líneas (CA1-CA3) con tensión de ca durante una aplicación de motorización, teniendo las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc una polaridad respectiva de tensión de cc, y para conectar las tres líneas (CA1-CA3) con tensión de ca a la línea apropiada (CC1, CC2) con tensión de cc o a ninguna de las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc durante una aplicación de generación con las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc, teniendo las líneas (CC1, CC2) con tensión de cc la misma polaridad respectiva de tensión de cc, de tal modo que el convertidor matricial (4) es capaz de regular un flujo bidireccional de energía mientras retiene una tensión unidireccional de cc.

31. Un procedimiento según la reivindicación 30 en el que el dispositivo (24) de bloqueo inverso tiene polarización inversa cuando cada una de las tres líneas (CA1, CA2, CA3) con tensión de ca está conectada a una de las dos líneas (CC1, CC2) con tensión de cc.

32. Un procedimiento según la reivindicación 30 que además comprende la etapa de abrir los interruptores primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto (10a a 10f) del convertidor matricial para que la corriente de cc fluya a través de la ruta (22) de libre circulación y el dispositivo (24) de bloqueo inverso tenga polarización directa.

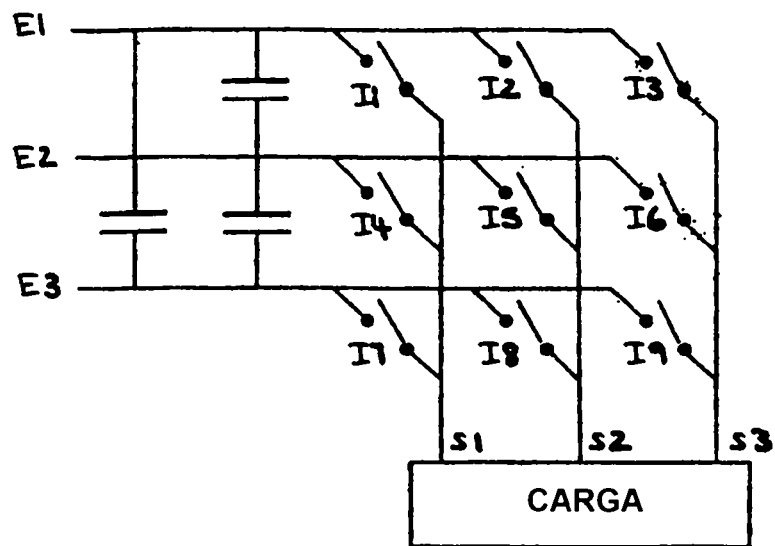


Figura 1

TÉCNICA ANTERIOR

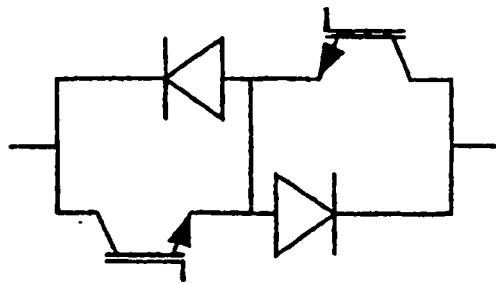


Figura 2a

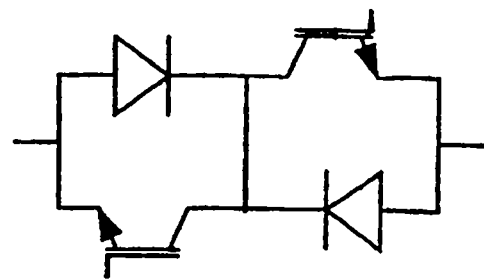


Figura 2b

TÉCNICA ANTERIOR

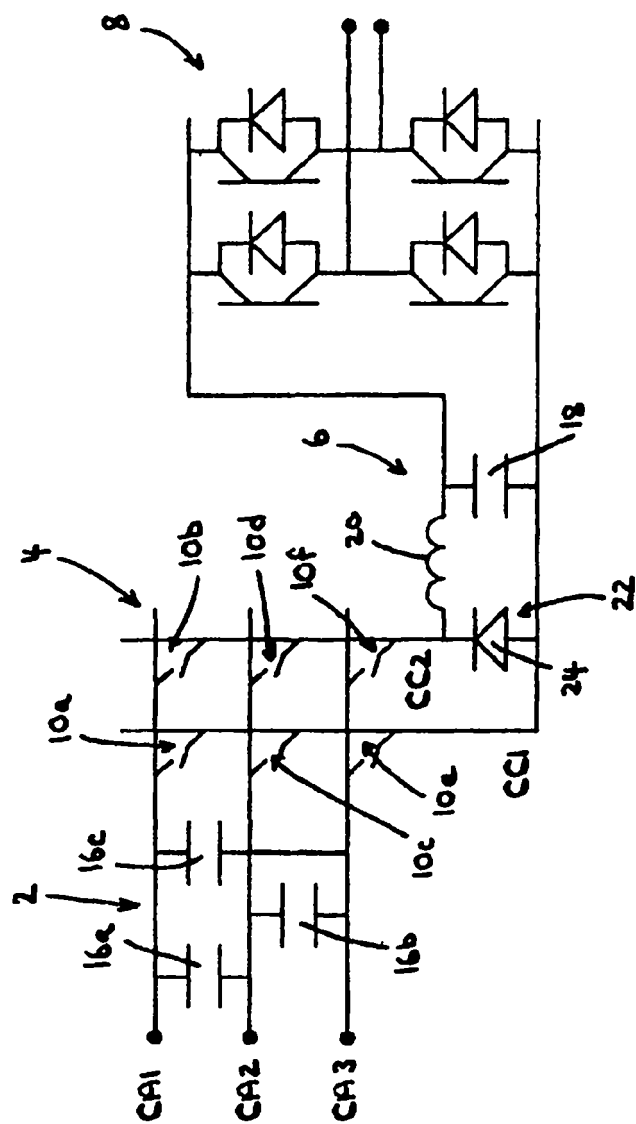


Figura 3

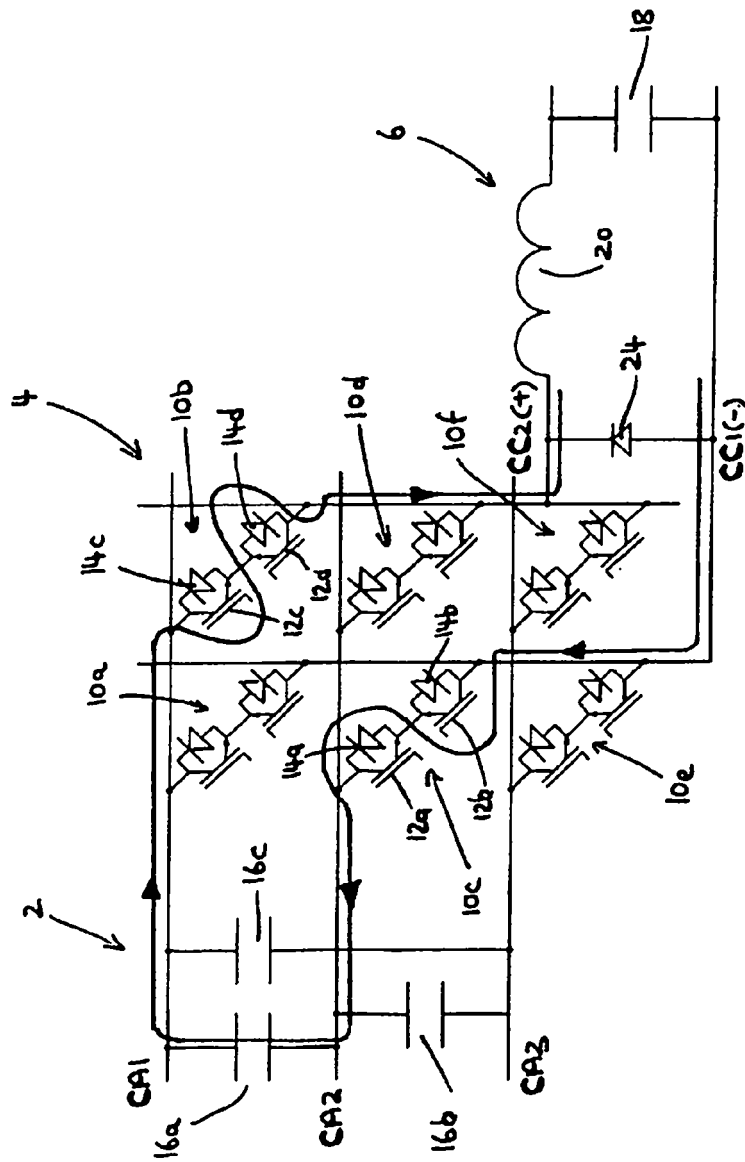


Figura 4

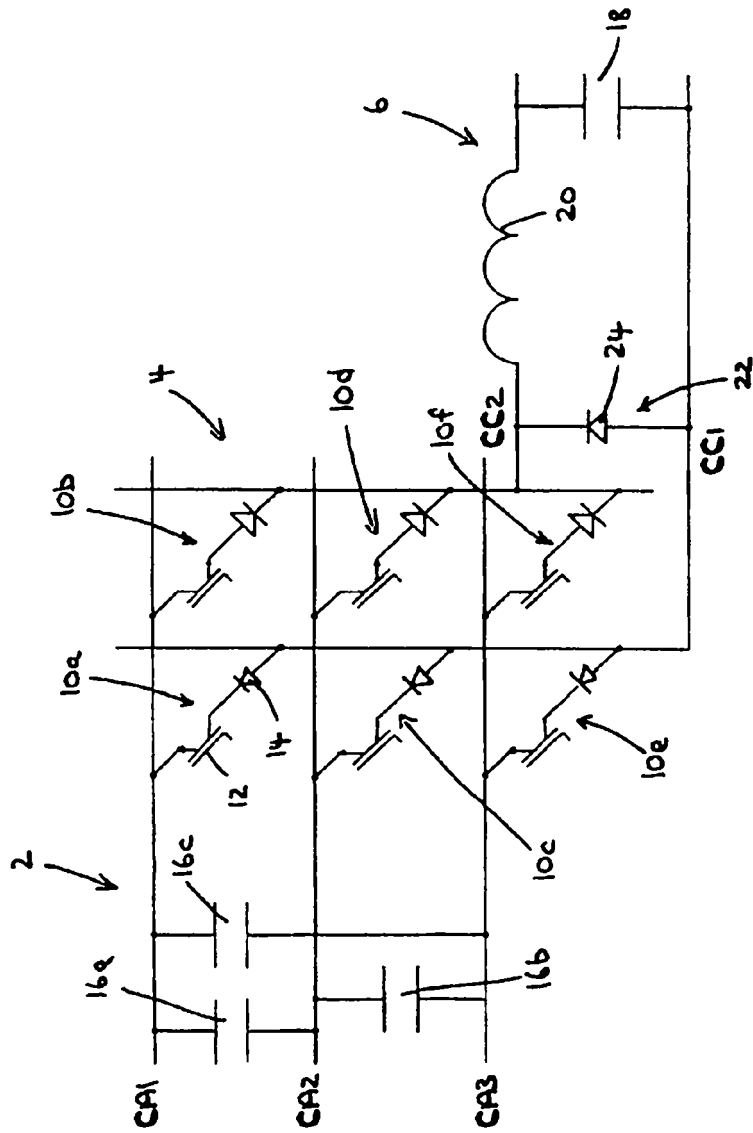


Figura 5

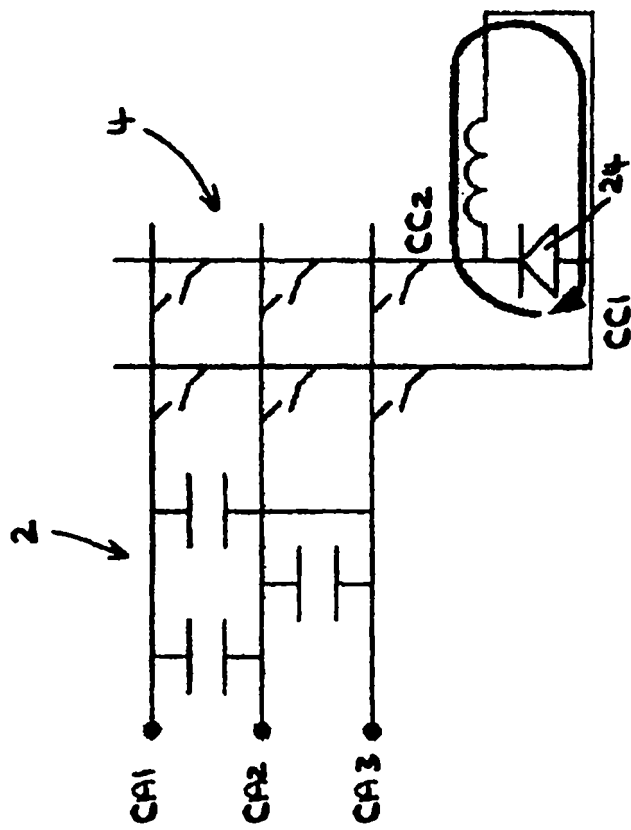


Figura 6

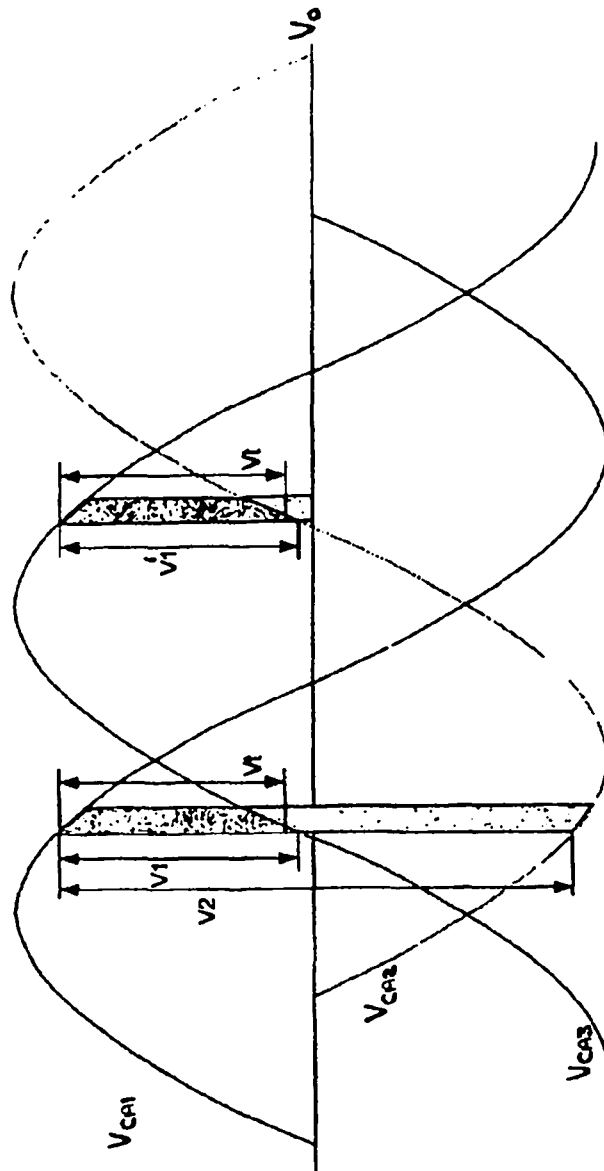


Figura 7

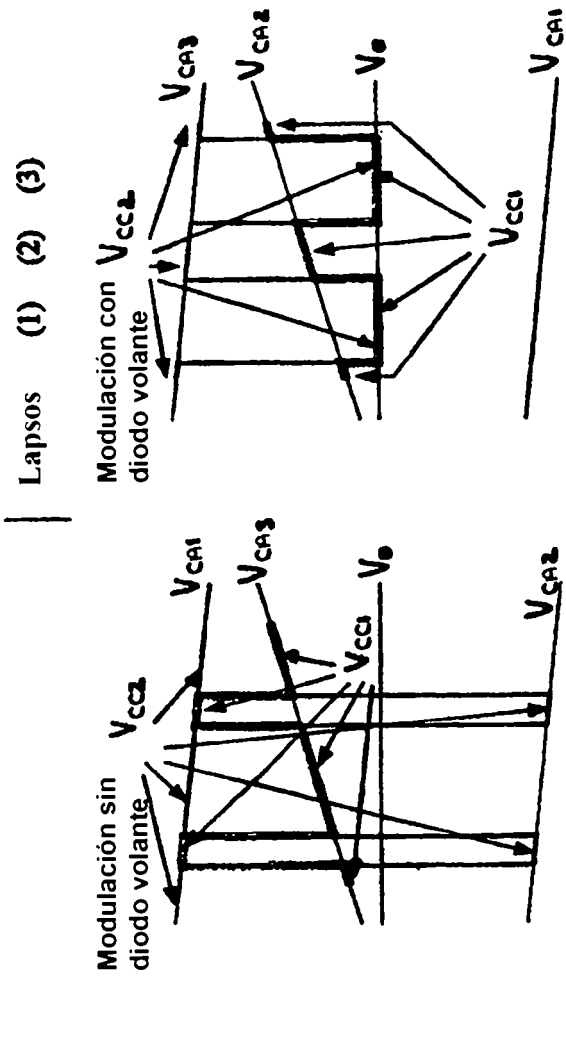


Figura 9

Figura 8

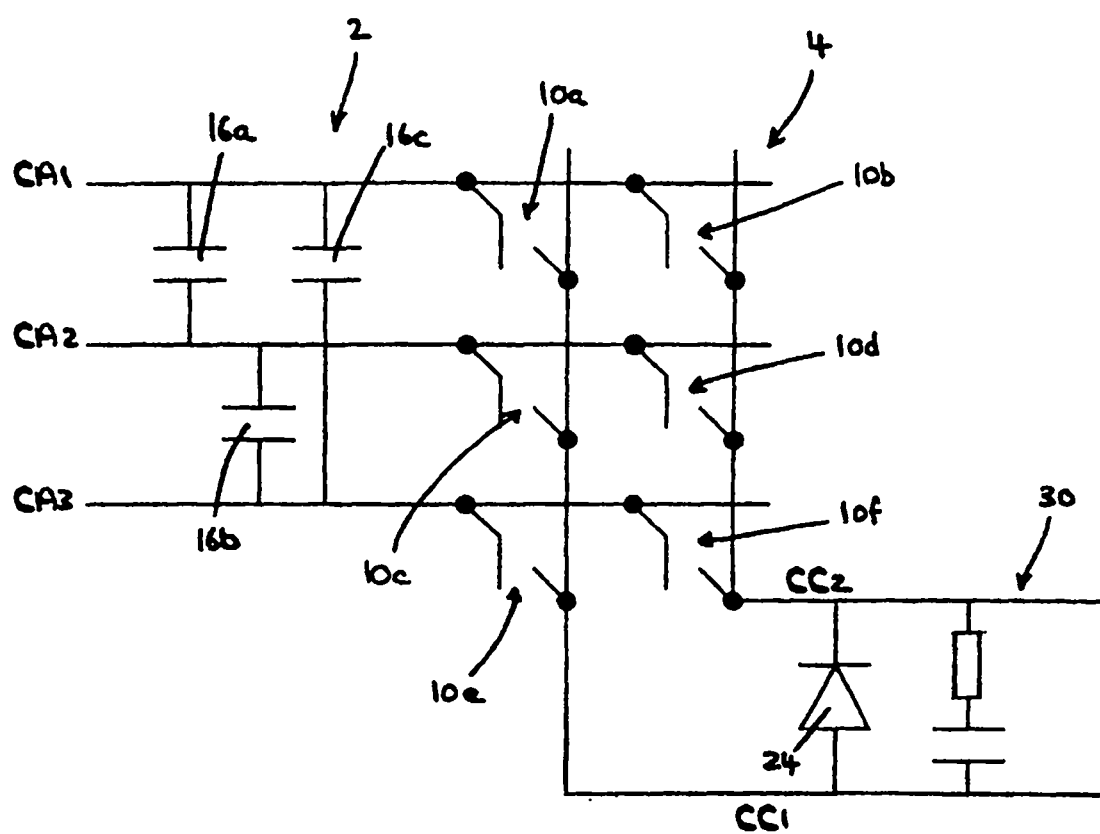


Figura 10

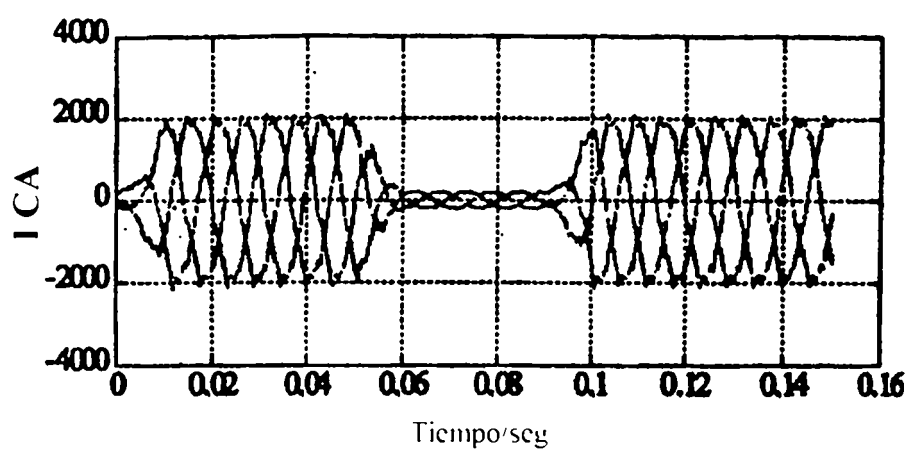


Figura 11

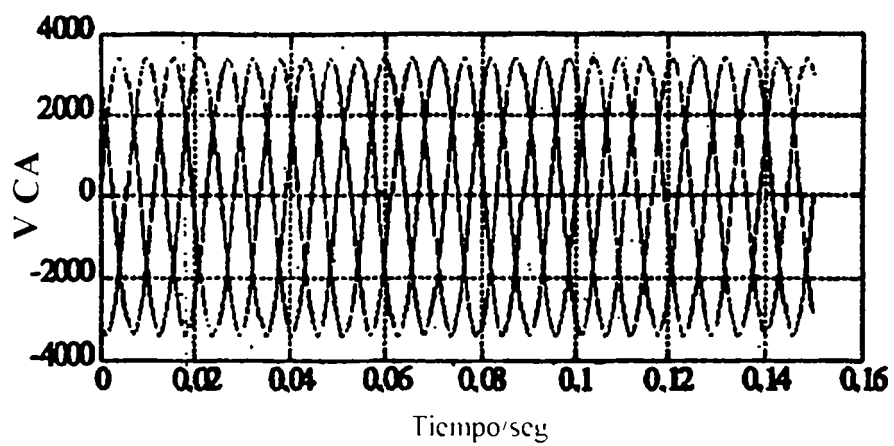


Figura 12

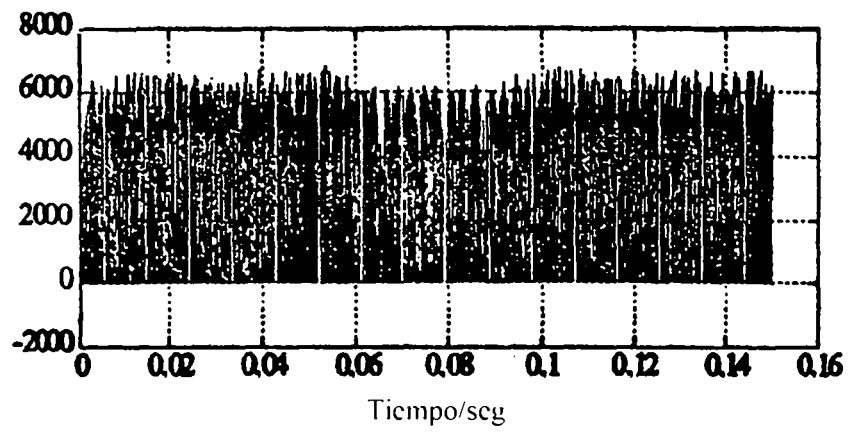


Figura 13

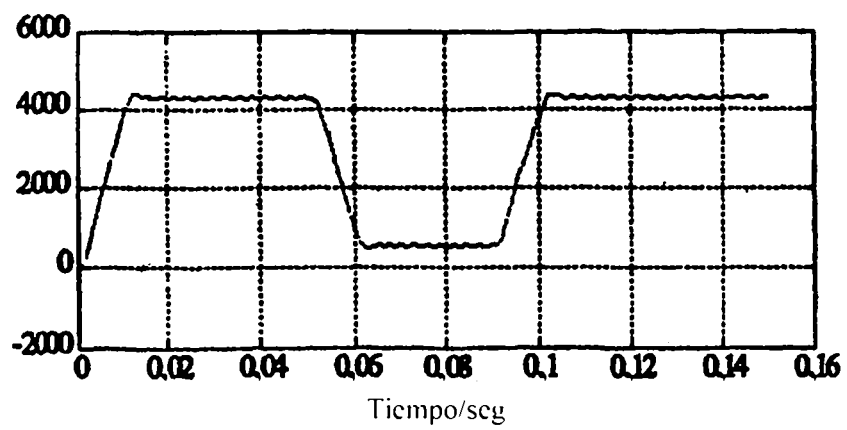


Figura 14

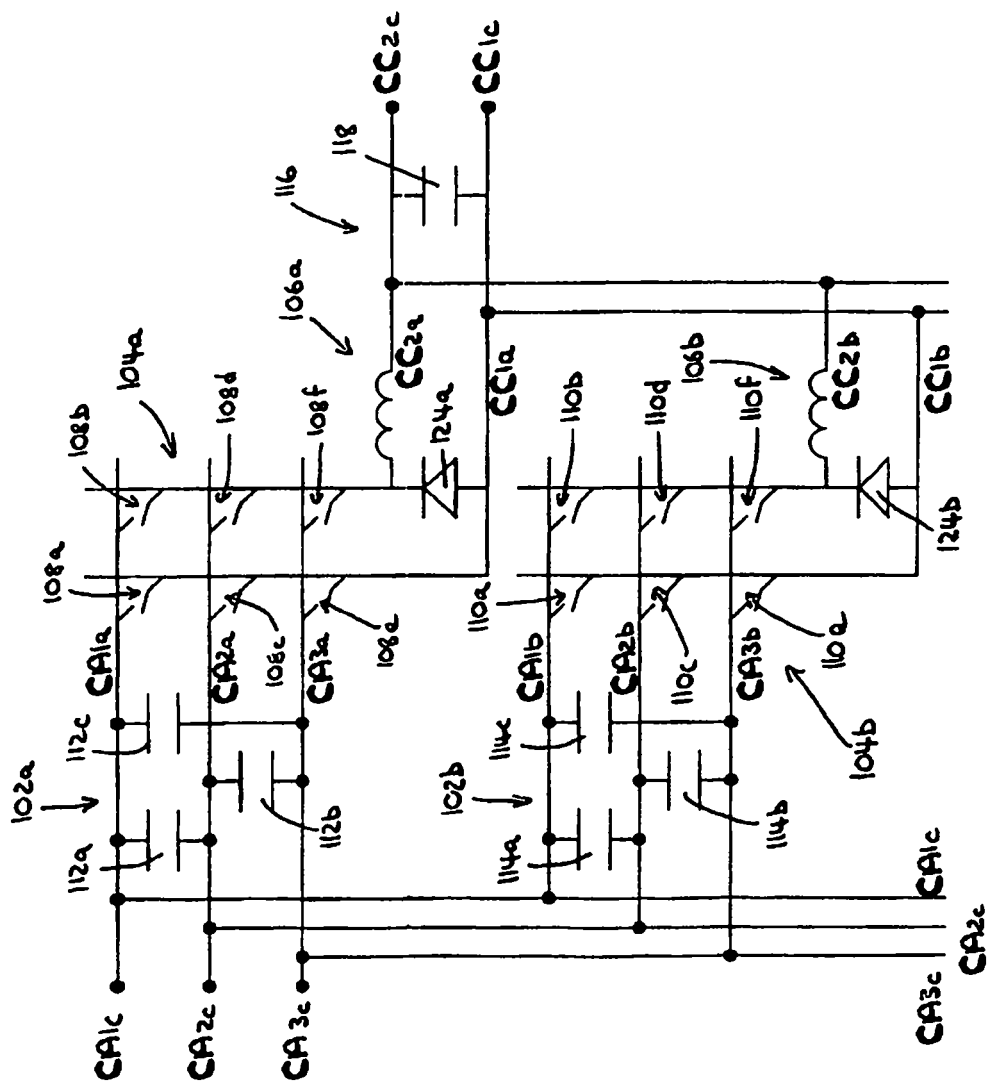


Figura 15