

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 466 353**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/757** (2006.01)

**H02M 7/797** (2006.01)

**H02J 3/36** (2006.01)

**H02M 1/12** (2006.01)

**H02M 1/15** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2010 E 10713202 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2014 EP 2556585**

54 Título: **Transformador híbrido HVDC**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.06.2014**

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD. (100.0%)**  
**Brown Boveri Str. 7**  
**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**TRAINER, DAVID;**  
**CANELHAS, ANDRE PAULO;**  
**DAVIDSON, COLIN CHARNOCK y**  
**BARKER, CARL DAVID**

74 Agente/Representante:

**PÉREZ BARQUÍN, Eliana**

**ES 2 466 353 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**

Transformador híbrido HVDC

5 Esta invención se refiere a un transformador electrónico de potencia para su uso en la transmisión de potencia de corriente continua de alta tensión y en compensación de potencia reactiva.

10 En redes de transmisión de potencia se convierte típicamente potencia de corriente alterna (AC) en potencia de corriente continua (DC) para su transmisión por medio de tendidos aéreos y/o cables submarinos. Esta conversión elimina la necesidad de compensar los efectos de carga capacitiva de corriente alterna impuestos por el tendido o cable de transmisión, y reduce así el coste por kilómetro de los tendidos y/o cables. La conversión de corriente alterna a corriente continua se convierte así en eficiente en costes cuando se necesita transmitir potencia a larga distancia.

15 La conversión de potencia de corriente alterna a corriente continua se utiliza asimismo en redes de transmisión de potencia cuando es necesario interconectar las redes de corriente alterna que funcionan a diferentes frecuencias.

20 En cualquiera de tales redes de transmisión de potencia, se requieren transformadores en cada interfaz entre potencia de corriente alterna y corriente continua para efectuar la conversión requerida, y dos de tales formas de transformadores son el transformador de línea conmutada (LCC) y el transformador de fuente de tensión (VSC).

25 Una forma de transformador conocido se basa en la disposición de grandes tiristores en estructuras de transformador de línea conmutada (LCC) de doce pulsos para conseguir la conversión entre potencia de corriente alterna y corriente continua. Estos transformadores son capaces de un funcionamiento continuo de 3000 a 4000 A y son adecuados para instalaciones industriales capaces de procesar varios gigavatios de potencia eléctrica.

30 Las centrales eléctricas basadas en estos transformadores convencionales absorben cantidades significativas de potencia reactiva de la red de corriente alterna a la cual están conectadas. Además, la naturaleza de doce pulsos de las estructuras de LCC conduce a elevados niveles de distorsión armónica en la corriente del transformador. Consecuentemente, ambos factores significan que las centrales eléctricas convencionales requieren el uso de grandes inductores y condensadores pasivos para proporcionar la potencia reactiva requerida y filtrar las corrientes de armónicos. Esto conduce a un aumento de tamaño, peso y coste del equipo físico de transformador.

35 Además, efectos de regulación inherentes que surgen de una impedancia del transformador asociado y de la red de corriente alterna conducen a una reducción en la tensión del lado de corriente continua con un aumento en el flujo de corriente. Esto se ve como una pendiente negativa inherente en las características de tensión de corriente continua frente a corriente de corriente continua a medida que aumenta el flujo de potencia.

40 Ambas publicaciones de Hongbo Jiang et al.: "Harmonic Collection of a Hybrid Converter" y de Oahraman B. et al: "A VSC based series hybrid converter for HVDC transmission" describen el principio general de combinar un transformador de tiristor y un transformador de fuente de tensión en un transformador electrónico de potencia, proporcionando el transformador de tiristor conversión entre potencia de corriente alterna y corriente continua y proporcionando el transformador de fuente de tensión potencia reactiva y controlando las corrientes de armónicos.

45 Sin embargo, ninguna de estas publicaciones se refiere a la inclusión de estructuras modulares multicelulares en el transformador de fuente de tensión.

50 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un transformador electrónico de potencia para su uso en transmisión de potencia de corriente continua de alta tensión y compensación de potencia reactiva que comprende al menos una columna de transformador que incluye terminales de corriente continua primero y segundo para su conexión, en uso, a una red de corriente continua, incluyendo la columna de transformador, o cada una de ellas, al menos un primer bloque de transformador y al menos un segundo bloque de transformador conectados entre los terminales de corriente continua primero y segundo; incluyendo el primer bloque de transformador, o cada uno de ellos, una pluralidad de tiristores de línea conmutada y al menos un primer terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una red de corriente alterna, incluyendo el segundo bloque transformador, o cada uno de ellos, al menos un transformador auxiliar, siendo el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, un transformador de cadena de eslabones, incluyendo el transformador de cadena de eslabones, o cada uno de ellos, una cadena de módulos conectados en serie, incluyendo cada módulo dos pares de elementos de conmutación conectados en paralelo con un dispositivo de almacenamiento de energía en una configuración de puente completo para definir un módulo bipolar de dos cuadrantes que puede proporcionar tensión positiva o negativa y que puede conducir corriente en una dirección, incluyendo cada par de elementos de conmutación un elemento de conmutación autoconmutado y un diodo conectado en serie; en el que los elementos de conmutación autoconmutados son controlables, en uso, de tal modo que la cadena de módulos conectados en serie, o cada uno de ellos, proporciona una fuente de tensión variable de modo continuo para modificar una tensión de corriente continua presentada al lado de corriente continua de la columna de transformador y/o modificar una tensión de corriente alterna y una corriente alterna en el lado de corriente alterna del transformador.

65 Proporcionar los bloques de transformador primero y segundo da como resultado un transformador electrónico de

5 potencia híbrido que incorpora tiristores de línea conmutada para la conversión entre potencia de corriente alterna y de corriente continua, y elementos de conmutación autoconmutados para proporcionar un rendimiento mejorado para proporcionar potencia reactiva y controlar corrientes de armónicos. Este rendimiento mejorado resulta de la capacidad inherente de encendido y apagado y las características de conmutación rápida de los elementos de conmutación autoconmutados, tales como transistores bipolares de puerta aislada. Esto conduce a una reducción en el tamaño, peso y coste del transformador, ya que deja de ser necesario utilizar grandes filtros de armónicos y condensadores para compensar las corrientes de armónicos y la potencia reactiva extraída por el transformador de línea conmutada.

10 El transformador auxiliar, o cada uno de ellos, puede ser operado para inyectar una forma de onda de tensión controlada en el lado de corriente alterna y/o en el lado de corriente continua del transformador electrónico de potencia. La forma de onda de tensión inyectada puede ser utilizada para modificar el perfil de la tensión y corriente del lado de corriente alterna y/o de corriente continua para controlar el flujo de potencia real y de potencia reactiva y mejorar así el rendimiento del transformador electrónico de potencia. Por ejemplo, la forma de onda de tensión puede ser inyectada para minimizar la dispersión de tensión del lado de corriente continua asociada normalmente con un aumento de corriente y de flujo de potencia en conversión de potencia basada en tiristores de línea conmutada.

15 La estructura del transformador de cadena de eslabones permite la acumulación de una tensión combinada, que es superior a la tensión suministrada por un módulo individual, mediante la inserción de múltiples módulos, cada uno de los cuales proporciona una tensión al transformador de cadena de eslabones. Variando el valor de la tensión combinada, el transformador de cadena de eslabones puede ser operado para generar una forma de onda de tensión de amplitud y ángulo de fase variables.

20 Además, la estructura del transformador de cadena de eslabones permite igualmente el uso de elementos de conmutación autoconmutados en combinación con tiristores de línea conmutada que tienen típicamente tensiones nominales mucho más elevadas. Elementos de conmutación autoconmutados, tales como IGBTs tienen típicamente tensiones nominales bajas, lo que significa que transformadores de fuente de tensión convencionales basados en tales elementos de conmutación autoconmutados tienden a tener menor capacidad nominal que transformadores de tiristores de línea conmutada de doce pulsos convencionales. La capacidad del transformador de cadena de eslabones de acumular una tensión combinada significa, sin embargo, que los elementos de conmutación autoconmutados de cada módulo pueden ser asociados con niveles de tensión que sobrepasan la tensión nominal individual de cada elemento de conmutación autoconmutado, y por lo tanto pueden ser utilizado en combinación con tiristores de línea conmutada en un transformador electrónico de potencia híbrido.

25 La capacidad de un módulo bipolar de dos cuadrantes de proporcionar tensiones positivas o negativas significa que la tensión a través del transformador de cadena de eslabones, o de cada uno de ellos, puede ser acumulada a partir de una combinación de módulos que proporcionan tensiones positivas o negativas. Por lo tanto, los niveles de energía en los dispositivos de almacenamiento de energía individuales pueden ser mantenidos en niveles óptimos mediante el control de los módulos para que alternen entre tensión positiva o negativa. La estructura del módulo bipolar de dos cuadrantes permite igualmente que el transformador electrónico de potencia funcione en presencia de una tensión de inversión del lado de corriente continua para permitir un flujo de potencia inverso a la vez que se mantiene el flujo de corriente tan sólo en una dirección.

30 Cuando el transformador auxiliar sólo requiere proporcionar tensión positiva o negativa con corriente unidireccional, es posible simplificar el diseño del módulo bipolar sustituyendo un elemento de conmutación autoconmutado en cada par con un diodo.

Preferiblemente, el dispositivo de almacenamiento de energía, o cada uno de ellos, incluye un condensador, una célula de combustible, una batería o un generador auxiliar de corriente alterna con un rectificador asociado.

35 Tal flexibilidad es útil en el diseño de estaciones de transformación en diferentes ubicaciones en las que la disponibilidad de equipamiento puede variar debido a dificultades locales y de transporte. Por ejemplo, el dispositivo de almacenamiento de energía de cada módulo en un parque eólico marítimo puede ser proporcionado en forma de un generador de corriente alterna auxiliar conectado a una turbina eólica.

40 Cada elemento de conmutación del módulo, o de cada uno de ellos, incluye preferiblemente un dispositivo semiconductor. Tal dispositivo semiconductor puede adoptar la forma de un transistor bipolar de puerta aislada, un tiristor bloqueable, un transistor de efecto campo, o un tiristor integrado conmutado por puerta.

45 El uso de dispositivos semiconductores es ventajoso ya que tales dispositivos son de pequeño tamaño y peso y tienen relativamente poca disipación de potencia, lo que minimiza la necesidad de equipo de refrigeración. Por lo tanto esto conduce a reducciones significativas en el coste, tamaño y peso del transformador de potencia.

50 Las capacidades de conmutación rápida de tales dispositivos semiconductores permiten que el transformador de cadena de eslabones, o cada uno de ellos, sintetice formas de onda complejas para su inyección en el lado de corriente alterna y/o el lado de corriente continua del transformador electrónico de potencia. La inyección de tales formas de onda complejas se puede utilizar, por ejemplo, para minimizar los niveles de distorsión armónica asociados típicamente con

transformadores electrónicos de potencia basados en tiristores de línea conmutada. Además, la inclusión de tales dispositivos semiconductores permite que los transformadores de cadena de eslabones respondan rápidamente al desarrollo de fallos del lado de corriente alterna y de corriente continua, y por tanto mejora la protección frente a fallos del transformador electrónico de potencia.

5 En modos de realización de la invención el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, puede ser operable para generar una tensión que desfase la tensión a través de un tiristor de línea conmutada y minimice así la tensión a través del tiristor de línea conmutada respectivo.

10 Esta característica es ventajosa ya que permite que los tiristores de línea conmutada conmuten a tensiones próximas a cero, y por lo tanto minimicen las pérdidas de conmutación y la interferencia electromagnética. Como el uso de conmutación a tensión próxima a cero reduce igualmente errores de tensión compartida y la velocidad de cambio de tensión que ven los tiristores de línea conmutada, se hace posible simplificar el diseño del equipo físico de transformador y de los componentes de amortiguación asociados.

15 En otros modos de realización, el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, puede ser operable para generar una tensión que se opone al flujo de corriente creada por un fallo, en uso, en las redes de corriente alterna o de corriente continua.

20 El transformador auxiliar puede ser utilizado para inyectar una tensión para proporcionar la tensión opuesta requerida para extinguir la corriente de fallo y evitar así daños a los componentes del transformador electrónico de potencia. El uso de los componentes del transformador electrónico de potencia para llevar a cabo tanto la conversión de tensión como la extinción de corrientes de fallo simplifica o elimina la necesidad de un equipo de circuito de protección separado, tal como un disyuntor de circuito o un aislante. Esto conduce a ahorros en términos de tamaño, peso y coste del equipo físico.

25 En modos de realización adicionales, el primer bloque de transformador, o cada uno de ellos, puede incluir uno o más conjuntos conectados en paralelo de tiristores de línea conmutada conectados en serie. En tales modos de realización, un punto intermedio entre los tiristores de línea conmutada conectados en serie del conjunto conectado en paralelo, o de cada uno de ellos, define un primer terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna.

30 Tal disposición de tiristores de línea conmutada puede ser utilizada para llevar a cabo procesos de rectificación e inversión con el fin de transferir potencia eléctrica entre redes de corriente alterna y de corriente continua.

35 En modos de realización de la invención, al menos un primer bloque de transformador puede ser conectado en paralelo con un segundo bloque de transformador, formando los bloques de transformador primero y segundo conectados en paralelo un elemento de transformador monofásico. En tales modos de realización, tres elementos de transformador monofásicos pueden ser conectados en serie o en paralelo en el lado de corriente continua del circuito para definir una red de corriente continua de dos terminales para la transmisión de potencia eléctrica trifásica.

40 La conexión en paralelo de los bloques del transformador primero y segundo da como resultado un transformador electrónico de potencia flexible que es capaz de conducir corriente en ambas direcciones.

45 En otros modos de realización, el primer bloque de transformador puede incluir además al menos un diodo. En cada uno de los siguientes modos de realización, los tiristores de línea conmutada del primer bloque de transformador pueden ser sustituidos por diodos.

50 El uso de diodos para sustituir a los tiristores de línea conmutada da como resultado transformadores electrónicos de potencia con características de transferencia de potencia asimétrica con un flujo de potencia inverso limitado entre redes de corriente alterna y de corriente continua. Tales transformadores electrónicos de potencia son adecuados para aplicaciones, tales como parques eólicos, que están fuertemente desviadas hacia la exportación de potencia de una red de corriente alterna a una red de corriente continua y que tan sólo requieren una entrada mínima de potencia. Consecuentemente, las partes del transformador que se requerirían de otro modo para facilitar la transferencia de potencia de la red de corriente continua a la red de corriente alterna pueden ser omitidas, lo que da como resultado ahorros en términos de tamaño, peso y coste.

55 En modos de realización de la invención, un primer bloque de transformador puede ser conectado en serie con un segundo bloque de transformador en el lado de corriente continua del circuito para definir una red de corriente continua de dos terminales para la transmisión de potencia eléctrica multifásica, incluyendo el primer bloque de transformador una pluralidad de conjuntos conectados en paralelo de tiristores de línea conmutada conectados en serie, estando conectado el primer terminal de corriente alterna de cada conjunto conectado en paralelo a una fase respectiva de la red de corriente alterna, incluyendo el segundo bloque de transformador una pluralidad de transformadores auxiliares, incluyendo cada transformador auxiliar un segundo terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna, en el que el conjunto conectado en paralelo de tiristores de línea conmutada conectados en serie, o cada uno de ellos, y el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, son accionables para modificar una tensión de corriente alterna de la fase asociada de la red de corriente alterna. En tal modo de realización, cuando se

emplea el uso de un transformador de cadena de eslabones, un punto intermedio de cada transformador de cadena de eslabones define un segundo terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna.

5 En tales modos de realización, el transformador electrónico de potencia puede ser conectado, en uso, a la red de corriente alterna por medio de un transformador, tal que los primeros terminales de corriente alterna del primer bloque de transformador se conectan, en uso, a bobinados secundarios del transformador, y los segundos terminales de corriente alterna del segundo bloque de transformador se conectan, en uso, a bobinados terciarios del transformador.

10 Tal montaje de un transformador electrónico de potencia permite que el transformador auxiliar inyecte una tensión para modificar tanto la tensión de corriente alterna como de corriente continua, y contribuir por lo tanto al flujo de potencia en ambas direcciones. Convencionalmente, transformadores basados en tiristores de línea conmutada extraen grandes cantidades de potencia reactiva de retardo, lo que provoca que la magnitud de la tensión de corriente alterna caiga a medida que el nivel de potencia transmitida y de corriente continua aumenta. Tales transformadores se basan en el uso  
15 de cambiadores de tomas en línea en los bobinados primarios de un transformador para estabilizar la tensión de corriente alterna asociada ajustando la velocidad de transformación, de modo que los transformadores funcionen al nivel de tensión óptimo. La conexión directa de transformadores auxiliares con las fases respectivas de la red de corriente alterna permite un control directo de la magnitud de la tensión de corriente alterna. Consecuentemente, no existe un requerimiento de cambiadores de tomas en línea para estabilizar y controlar la tensión de corriente alterna ya que los  
20 elementos de conmutación autoconmutados de cada transformador auxiliar proporcionan el control de tensión necesario. La retirada del equipamiento de cambiadores de tomas conduce a un aumento en la fiabilidad del sistema así como a ahorros en términos de tamaño, peso y coste del transformador.

En otros modos de realización, la columna de transformador, o cada una de ellas, puede incluir un primer bloque de transformador conectado en serie entre dos segundos bloques de transformador para definir porciones de columna  
25 primera y segunda, incluyendo cada porción de columna al menos un tiristor de línea conmutada conectado en serie con un transformador auxiliar entre uno de los terminales respectivos de corriente continua primero y segundo y los primeros terminales de corriente alterna respectivos, siendo operable cada tiristor de línea conmutada y cada transformador auxiliar de cada porción de columna para conectar y desconectar la porción de columna respectiva del circuito para generar una forma de onda de tensión en el terminal de corriente alterna respectivo.  
30

Alternativamente, la columna de transformador, o cada una de ellas, puede incluir dos segundos bloques de transformador conectados en serie entre los tiristores de línea conmutada conectados en serie del primer bloque de transformador respectivo para definir porciones de columna primera y segunda, definiendo un punto intermedio entre los  
35 dos segundos bloques de transformador el primer terminal de corriente alterna de la columna de transformador, o de cada una de ellas, incluyendo cada porción de columna al menos un tiristor de línea conmutada conectado en serie con un transformador auxiliar entre uno de los terminales respectivos de corriente continua primero y segundo y los primeros terminales de corriente alterna respectivos, siendo operable cada tiristor de línea conmutada y cada transformador auxiliar de cada porción de columna para conectar y desconectar la porción de columna respectiva del circuito para generar una forma de onda de tensión en el terminal de corriente alterna respectivo.  
40

Aparte de permitir que el transformador auxiliar inyecte una tensión para modificar tanto las tensiones de corriente alterna como de corriente continua y contribuir así al flujo de potencia en ambas direcciones, estos montajes de transformador electrónico de potencia proporcionan configuraciones más sencillas debido a la reducción en el número de conexiones  
45 de terminal de corriente alterna a la red de corriente alterna.

En tales modos de realización, el transformador electrónico de potencia puede incluir múltiples columnas de transformador, estando conectado el primer terminal de corriente alterna de cada columna de transformador, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna multifásica.  
50

En tales transformadores electrónicos de potencia, los tiristores de línea conmutada y el transformador auxiliar de cada columna de transformador funcionan independientemente de aquellos de las otras columnas de transformador, y por lo tanto sólo afecta a la fase conectada con el primer terminal de corriente alterna respectivo, y no tiene influencia en las fases conectadas a los primeros terminales de corriente alterna de las otras columnas de transformador.  
55

En otros de tales modos de realización, el transformador electrónico de potencia puede incluir dos columnas de transformador e incluir además un par de condensadores de enlace de corriente continua conectados en serie entre los terminales de corriente continua primero y segundo de cada columna de transformador y conectados en paralelo con cada columna de transformador, definiendo un punto intermedio entre los condensadores de enlace de corriente continua un tercer terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase de la red de corriente alterna.  
60

Sintetizar formas de onda en los primeros terminales de corriente alterna de las dos columnas de transformador da como resultado la generación de una tercera forma de onda de tensión en el tercer terminal de corriente alterna entre los condensadores de enlace de corriente continua. Si las dos formas de onda sintetizadas tienen perfiles y magnitudes idénticas, la tercera forma de onda compartirá el mismo perfil y magnitud de forma de onda que las formas de onda sintetizadas.  
65

- Piezas del transformador tales como condensadores e inductores son sólo necesarias para las columnas de transformador primera y segunda. Además, se pueden reducir enlaces de comunicaciones entre el transformador electrónico de potencia y un controlador global. Esta reducción de piezas del transformador da como resultado una mejora en costes, envolvente espacial y eficiencia de funcionamiento, en comparación con configuraciones de transformadores trifásicos convencionales que requieren piezas del transformador para las tres columnas de transformador.
- Preferiblemente, al menos un tiristor se conecta en paralelo con un segundo bloque de transformador, siendo operable el transformador auxiliar del segundo bloque de transformador para proporcionar una tensión de conmutación para conmutar el tiristor de línea conmutada asociado a un estado apagado.
- El uso de elementos de conmutación autoconmutados para ayudar al apagado del tiristor de línea conmutada asociado proporciona un control mejorado sobre los procesos de conmutación en el transformador electrónico de potencia, y por lo tanto un aumento en la eficiencia de conversión de potencia.
- En modos de realización de la invención, el transformador electrónico de potencia puede incluir además al menos un mecanismo de derivación asociado operativamente con un transformador auxiliar, en el que el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, es operable para provocar un cortocircuito a través del mecanismo de derivación y provocar así que la corriente del transformador fluya a través del cortocircuito mientras circunvala el transformador auxiliar respectivo.
- Preferiblemente, el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, es operable para provocar un cortocircuito a través del mecanismo de derivación tras detectar un fallo en las redes de corriente alterna o de corriente continua o en el transformador electrónico de potencia.
- En modos de realización que emplean el uso de uno o más mecanismos de derivación, el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, puede estar conectado en paralelo con el transformador auxiliar respectivo.
- El mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, incluye preferiblemente un conmutador, siendo operable el mecanismo de derivación para activar el conmutador respectivo para provocar un cortocircuito a través del conmutador activado. Tal conmutador puede adoptar la forma de un conmutador de derivación mecánico o de un conmutador de semiconductor.
- La inclusión de un mecanismo de derivación dota al transformador auxiliar asociado de una protección frente a fallos adicional en el caso de que el transformador auxiliar no pueda generar la tensión requerida para oponerse y reducir la tensión de ataque para reducir la corriente de fallo o en el caso de un fallo de conmutación de tiristores en el transformador electrónico de potencia que conduciría de otro modo a que se aplicara una alta tensión directamente al transformador auxiliar.
- A continuación se describirán modos de realización preferidos de la invención, por medio de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:
- la figura 1 muestra un transformador electrónico de potencia de acuerdo con un primer modo de realización de la invención;
  - la figura 2 muestra el funcionamiento del transformador electrónico de potencia de la figura 1;
  - la figura 3 muestra el funcionamiento de un módulo bipolar de cuatro cuadrantes que no forma parte de la invención;
  - la figura 4 muestra una generación en escalones de una forma de onda de tensión sinusoidal de 50 Hz;
  - la figura 5 muestra el funcionamiento de un módulo bipolar de dos cuadrantes simplificado;
  - la figura 6 muestra el uso del módulo bipolar de dos cuadrantes mostrado en la figura 5 en el transformador electrónico de potencia de la figura 1;
  - la figura 7 muestra un transformador electrónico de potencia de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención;
  - la figura 8 muestra un transformador electrónico de potencia de acuerdo con un tercer modo de realización de la invención;
  - las figuras 9a, 9b muestran diagramas de vectores del funcionamiento básico del transformador electrónico de potencia de la figura 8;
  - la figura 10 muestra otro transformador electrónico de potencia que no forma parte de la invención;

- la figura 11 muestra un transformador electrónico de potencia que no forma parte de la invención;

- la figura 12 muestra el funcionamiento de un transformador electrónico de potencia para minimizar la corriente del transformador electrónico de potencia durante un fallo de la red de corriente continua;

5 - la figura 13 se muestra un tiristor de línea conmutada conectado en paralelo con un transformador de cadena de eslabones; y

- la figura 14 muestra un transformador electrónico de potencia adicional que no forma parte de la invención.

10 Un conmutador electrónico de potencia 20a de acuerdo con un primer modo de realización de la invención se muestra en la figura 1.

15 El transformador electrónico de potencia 20a comprende una columna de transformador 22 que incluye terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b para su conexión, en uso, a una red de corriente continua 26, y primeros terminales de corriente alterna 28 para su conexión, en uso, a una red de corriente alterna 30.

20 La columna de transformador 22 incluye un primer bloque de transformador 32 y un segundo bloque de transformador 34 conectados en serie entre los terminales primero y segundo 24a, 24b de corriente continua para definir una red de corriente continua de dos terminales para intercambiar potencia con una red de corriente alterna trifásica 30.

25 El primer bloque de transformador 32 incluye tres pares conectados en paralelo de tiristores de línea conmutada 36. Un punto intermedio entre cada par de tiristores de línea conmutada 36 define un primer terminal de corriente alterna 28 para su conexión, en uso, a una fase respectiva de una red trifásica de corriente alterna 30. Proporcionar los primeros terminales de corriente alterna 28 permite la transferencia de potencia eléctrica entre las redes de corriente alterna y de corriente continua 30, 26.

30 El segundo bloque de transformador 34 incluye tres transformadores auxiliares conectados en paralelo, siendo cada transformador auxiliar un transformador de cadena de eslabones que incluye una cadena de módulos conectados en serie. Un punto intermedio de cada transformador de cadena de eslabones define un segundo terminal de corriente alterna 40 para su conexión, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna 30.

35 La configuración anterior de bloques de transformador primero y segundo 32, 34 significa que la fase de la red de corriente alterna 30 está influida por el funcionamiento de un par respectivo conectado en paralelo de tiristores de línea conmutada 36 y un transformador de cadena de eslabones respectivo. El funcionamiento de cada tiristor de línea conmutada 36 y de cada transformador de cadena de eslabones sólo afecta directamente a la fase a la cual están conectados.

40 La figura 2 ilustra el funcionamiento del transformador electrónico de potencia 20a de la figura 1. El transformador electrónico de potencia 20a se controla para proporcionar una transferencia simétrica de potencia entre las redes de corriente alterna y de corriente continua 30, 26. La red de corriente continua 26 en este ejemplo está dispuesta en forma de una estación de transformación remota.

45 En uso, los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b están conectados a uno de los terminales positivo o negativo respectivo de la estación de transformación remota 26, transportando los terminales positivo y negativo respectivamente una tensión de  $+V_{DC}/2$  y  $-V_{DC}/2$ , en donde  $V_{DC}$  es el intervalo de tensión de corriente continua de la estación de transformación remota 26. Esta configuración permite que la estación de transformación remota 26 proporcione una tensión de corriente continua 42 de cualquier polaridad con respecto a los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b del transformador electrónico de potencia 20a.

50 Durante la transferencia de potencia de la red de corriente alterna 30 a la estación de transformación remota 26, la tensión de corriente continua 42 a través de la estación de transformación remota 26 se fija a una primera polaridad. El montaje de los tiristores de línea conmutada 36 permite que un primer bloque de transformador 32 actúe como un rectificador para convertir potencia de corriente alterna en potencia de corriente continua mientras una corriente 43 fluye en el lado de corriente continua del transformador electrónico de potencia 20a en una primera dirección.

60 Durante la transferencia de potencia de la estación de transformación remota 26 a la red de corriente alterna 30, la tensión de corriente continua 42 a través de la estación de transformación remota 26 se invierte a una segunda polaridad controlando los ángulos de disparo asociados. La configuración de tiristores de línea conmutada 36 permite que el primer bloque de transformador 32 actúe como un inversor para convertir potencia de corriente continua en potencia de corriente alterna mientras la corriente 43 en el lado de corriente continua del transformador electrónico de potencia 20a continúa fluyendo en la primera dirección.

65 Las operaciones de conmutación de los tiristores de línea conmutada 36 se controlan para efectuar los procesos de rectificación e inversión durante la transferencia de potencia entre las redes de corriente alterna y de corriente continua 30, 26.

5 Como se observa en la figura 2, y se describió anteriormente, durante el funcionamiento del transformador electrónico de potencia 20a se requiere que el segundo bloque de transformador 34 sea capaz de funcionar en presencia de una tensión de corriente continua inversa y sea capaz de habilitar un flujo bidireccional de potencia con flujo de corriente unidireccional.

10 En una disposición que no forma parte de la invención, cada módulo 44 de cada transformador de cadena de eslabones del segundo bloque de transformador puede incluir dos pares de elementos de conmutación auxiliares conectados en paralelo con un condensador 46 en una disposición de puente completo para formar un módulo bipolar de cuatro cuadrantes 44, siendo cada elemento de conmutación auxiliar un elemento de conmutación autoconmutado 48 conectado en paralelo con un diodo antiparalelo, como se muestra en la figura 3.

15 Transformadores de cadena de eslabones basados en módulos bipolares de cuatro cuadrantes 44 pueden ser operados en cuatro cuadrantes mediante el control del ángulo de fase y la magnitud de la forma de onda generada del lado de corriente alterna y por lo tanto pueden absorber o generar potencia real y reactiva.

El condensador 46 de cada módulo bipolar de cuatro cuadrantes 44 puede ser circunvalado o insertado en el transformador de cadena de eslabones cambiando el estado de los elementos de conmutación auxiliares.

20 Un condensador 46 de un módulo 44 es circunvalado cuando los pares de elementos de conmutación autoconmutados 48 se configuran para formar un cortocircuito en el módulo 44, provocando que la corriente en el transformador electrónico de potencia pase a través del cortocircuito y circunvale el condensador 46. Esto permite que el módulo 44 proporcione una tensión cero.

25 Un condensador 46 de un módulo 44 se inserta en el transformador de cadena de eslabones cuando los pares de elementos de conmutación autoconmutados 48 se configuran para permitir que la corriente del transformador fluya hacia y desde el condensador 46, que es así capaz de cargar o descargar su energía almacenada y proporcionar una tensión. La configuración de puente completo permite que los elementos de conmutación autoconmutados 48 se configuren para insertar el condensador 46 en el transformador de cadena de eslabones en cualquier posición directa e inversa para permitir cualquier dirección del flujo de corriente a través del condensador 46 de modo que se proporcione una tensión positiva o negativa.

30 Además, el módulo 44 puede conducir corriente en ambas direcciones cuando su condensador 46 es o bien circunvalado o bien insertado en el transformador de cadena de eslabones respectivo.

35 Como tales, los módulos bipolares de cuatro cuadrantes 44 son capaces de funcionar en presencia de una tensión de corriente continua de inversión y permitir un flujo de potencia bidireccional con flujo de corriente unidireccional, como se muestra en la figura 3.

40 Proporcionar módulos bipolares de cuatro cuadrantes 44 en el transformador de cadena de eslabones, o en cada uno de ellos, hace que el uso de tales transformadores de cadena de eslabones sea compatible con conversión de potencia basada en tiristores de línea conmutada.

45 Los elementos de conmutación autoconmutados 48 son operables de modo que la cadena de módulos 44 proporcione una fuente de tensión variable escalonada, y son conmutados a, o cerca de, la frecuencia fundamental de la red de corriente alterna.

50 Es posible acumular una tensión combinada a través del transformador de cadena de eslabones que sea mayor que la tensión disponible de cada uno de los módulos individuales 44 por medio de la inserción de los condensadores 46 de múltiples módulos 44, cada uno de los cuales proporciona su propio voltaje, en el transformador de cadena de eslabones. Esto permite el uso de elementos de conmutación autoconmutados 48 en combinación con tiristores de línea conmutada que tienen típicamente unas tensiones nominales muy superiores. Elementos de conmutación autoconmutados 48 tales como IGBTs tienen típicamente voltajes nominales bajos, lo que significa que transformadores electrónicos de potencia convencionales basados en tales elementos de conmutación autoconmutados 48 tienden a tener una menor capacidad nominal que transformadores convencionales de tiristores de línea conmutada de doce pulsos. La capacidad del transformador de cadena de eslabones de acumular una tensión combinada significa, sin embargo, que los elementos de conmutación autoconmutados 48 de cada módulo 44 pueden estar asociados con niveles de tensión que superan la tensión nominal individual de cada elemento de conmutación autoconmutado 48, y por lo tanto pueden ser utilizados en combinación con tiristores de línea conmutada con tensiones nominales más altas.

60 Además, la capacidad de un módulo bipolar de cuatro cuadrantes 44 de proporcionar tensiones positivas o negativas significa que la tensión a través de cada transformador de cadena de eslabones puede ser acumulada a partir de una combinación de módulos 44 que proporcionan tensiones positivas o negativas. Por lo tanto, los niveles de energía de los condensadores 46 individuales pueden ser mantenidos en niveles óptimos controlando los módulos 44 para alternar entre proporcionar tensión positiva o negativa.

65



Es posible igualmente variar el temporizado de las operaciones de conmutación para cada módulo 44 de tal modo que la inserción y/o derivación de los condensadores 46 de módulos individuales 44 en el transformador de cadena de eslabones da como resultado la generación de una forma de onda de tensión. Un ejemplo de una forma de onda de tensión generada utilizando el transformador de cadena de eslabones se muestra en la figura 4, en la cual la inserción de los condensadores de los módulos individuales se escalona para generar una forma de onda sinusoidal de 50 Hz. Se pueden generar otros perfiles de forma de onda ajustando el temporizado de las operaciones de conmutación para cada módulo 44 en el transformador de cadena de eslabones.

En la configuración mostrada en la figura 3, cada elemento de conmutación autoconmutado 48 incluye un transistor bipolar de puerta aislada acompañado de un diodo conectado en paralelo inverso.

Se prevé que en otros modos de realización cada elemento de conmutación autoconmutado 48 pueda incluir un dispositivo semiconductor diferente, tal como un transistor de efecto campo, un tiristor bloqueable, un transistor integrado conmutado por puerta, u otros conmutadores semiconductores autoconmutados, acompañados por un diodo conectado en paralelo inverso.

Las capacidades de conmutación rápida de los elementos de conmutación autoconmutados 48 permite que un transformador de cadena de eslabones resultante sintetice formas de onda complejas para su inyección en el transformador electrónico de potencia, y proporcione así un excelente control y flexibilidad sobre la tensión del transformador y las formas de onda de corriente generadas. Esta síntesis e inyección de formas de onda complejas puede ser utilizada para minimizar la distorsión armónica que está presente típicamente en conversión de potencia basada en tiristores de línea conmutada.

Se prevé asimismo que en otros modos de realización el condensador 46 de cada uno de los módulos 44 pueda ser sustituido por un dispositivo de almacenamiento de energía distinto, tal como una célula de combustible, una batería o un generador de corriente alterna auxiliar con un rectificador asociado.

En un modo preferido de realización de la invención, el módulo bipolar de cuatro cuadrantes 44 puede ser simplificado de modo que cada módulo 44 incluya dos pares de elementos de conmutación auxiliares, consistiendo cada par de elementos de conmutación auxiliares en un elemento de conmutación autoconmutado 48 y un diodo 52 conectados en serie, como se muestra en la figura 5. La sustitución de un elemento de conmutación autoconmutado 48 por un diodo 52 en cada par de elementos de conmutación auxiliares conduce a una reducción del tamaño, peso y coste del transformador.

El módulo bipolar de cuatro cuadrantes simplificado 44, esto es, el módulo bipolar de dos cuadrantes 44 resultante, puede proporcionar tensión positiva, cero y negativa, a la vez que mantiene un flujo de corriente unidireccional.

Un condensador 46 del módulo bipolar de cuatro cuadrantes simplificado 44 es circunvalado cuando un elemento de conmutación autoconmutado 48 y un diodo 52 se configuran para formar un cortocircuito en el módulo 44, provocando que la corriente en el transformador electrónico de potencia pase a través del cortocircuito y circunvale el condensador 46. Esto permite que el módulo 44 proporcione una tensión igual a cero.

El módulo bipolar de cuatro cuadrantes simplificado 44 proporciona una tensión positiva cuando los elementos de conmutación autoconmutados 48 se abren para permitir que la corriente del transformador fluya en una dirección a través del condensador 46 por medio de los diodos 52, y proporciona una tensión negativa cuando los elementos de conmutación autoconmutados 48 se cierran para permitir que la corriente del transformador fluya en la otra dirección a través del condensador 46 por medio de los elementos de conmutación autoconmutados 48.

Por lo tanto, transformadores de cadena de eslabones basados en este módulo bipolar de cuatro cuadrantes simplificado 44 son capaces de proporcionar un flujo de potencia bidireccional con un flujo de corriente unidireccional, y por lo tanto son compatibles con conversión de potencia basada en tiristores de línea conmutada.

La figura 6 muestra el uso de transformadores de cadena de eslabones 38 que incluyen módulos bipolares de dos cuadrantes en el transformador electrónico de potencia de la figura 1.

En uso, como se muestra en las figuras 1 y 6, el transformador electrónico de potencia 20a puede ser conectado a una red de corriente alterna 30 mediante un transformador. Bobinados primarios 54 del transformador se conectan directamente a la red de corriente alterna 30 mientras que bobinados secundario y terciario 56, 58 del transformador se conectan respectivamente a los terminales de corriente alterna primero y segundo 28, 40 del transformador electrónico de potencia 20a. Los bobinados primarios 54 están acoplados mutuamente con los bobinados secundario y terciario 56, 58, de modo que los terminales de corriente alterna primero y segundo 28, 40 se conectan, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna 30.

Tal configuración permite que cada transformador de cadena de eslabones 30 del segundo bloque de transformador 34 controle directamente la magnitud de la tensión de corriente alterna de la fase respectiva de la red de corriente alterna. Consecuentemente, no hay ningún requerimiento para incorporar cambiadores de tomas en línea en el transformador

asociado a fin de estabilizar y controlar la tensión de corriente alterna ya que los elementos de conmutación autoconmutados 48 de cada transformador de cadena de eslabones 38 proporcionan el control de tensión necesario. La eliminación de equipo de cambiador de toma conduce a un aumento de la fiabilidad del sistema así como a ahorros en términos de tamaño, peso y coste del transformador.

5 Un transformador electrónico de potencia 20b de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención se muestra en la figura 7.

10 El transformador electrónico de potencia 20b comprende tres columnas de transformador 22 que incluyen terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b para su conexión, en uso, a una red de corriente continua, y primeros terminales de corriente alterna 28 para su conexión, en uso, a una red de corriente alterna 30.

15 En uso, los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b están conectados a uno de los terminales positivo o negativo respectivo de la red de corriente continua 26, transportando respectivamente los terminales positivo y negativo una tensión de  $+V_{DC}/2$  y  $-V_{DC}/2$ , en donde  $V_{DC}$  es el intervalo de tensión de corriente continua de la red de corriente continua 26. Esta configuración permite que la red de corriente continua 26 proporcione una tensión de corriente continua de cualquier polaridad con respecto a los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b del transformador electrónico de potencia 20b para permitir un flujo de potencia bidireccional entre las redes de corriente alterna y de corriente continua 30, 26.

20 Cada columna de transformador 22 incluye un primer bloque de transformador conectado en serie entre dos segundos bloques de transformador para definir porciones de columna primera y segunda 60, 62, incluyendo cada porción de columna 60, 62 un tiristor de línea conmutada 36 conectado en serie con un transformador de cadena de eslabones entre uno de los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b respectivo y los primeros terminales de corriente alterna 28 respectivos, siendo operable cada tiristor de línea conmutada 36 y cada transformador de cadena de eslabones 38 de cada porción de columna 60, 62 para conectar y desconectar la porción de columna 60, 62 respectiva al circuito para generar una forma de onda de tensión en el primer terminal de corriente alterna 28 respectivo.

30 La conexión en serie entre el tiristor de línea conmutada 36 y el transformador de cadena de eslabones 38 de cada una de las porciones de columna primera y segunda 60, 62 significa que, en otros modos de realización, estos pueden ser conectados en un orden inverso entre el primer terminal de corriente alterna 28 y el terminal de corriente continua 24a, 24b respectivo.

35 En otros modos de realización, cada columna de transformador puede incluir por lo tanto dos segundos bloques de transformador conectados en serie entre los tiristores de línea conmutada conectados en serie del primer bloque de transformador respectivo para definir porciones de columna primera y segunda, definiendo un punto intermedio entre los dos segundos bloques de transformador el primer terminal de corriente alterna de la columna de transformador, o de cada una de ellas, incluyendo cada porción de columna un tiristor de línea conmutada conectado en serie con un transformador de cadena de eslabones entre uno de los terminales de corriente continua primero y segundo respectivo y los primeros terminales de corriente alterna respectivos, siendo operable cada tiristor de línea conmutada y cada transformador de cadena de eslabones de cada porción de columna para conectar y desconectar la porción de columna respectiva del circuito para generar una forma de onda de tensión en primer terminal de corriente alterna respectivo.

45 Se prevé que en otros modos de realización cada porción de columna 60, 62 pueda incluir una cadena de tiristores de línea conmutada conectados en serie con el transformador de cadena de eslabones 38 entre uno de los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b respectivo y los primeros terminales de corriente alterna 28 respectivos.

50 En la configuración mostrada en la figura 7, los tiristores de línea conmutada 36 y el transformador de cadena de eslabones 38 de cada columna de transformador 22 funcionan independientemente de aquellos de las otras columnas de transformador 22, y por lo tanto sólo afecta directamente a la fase conectada con el primer terminal de corriente alterna 28 respectivo, y tiene una influencia limitada en las fases conectadas a los primeros terminales de corriente alterna 28 de las otras columnas de transformador 22.

55 Este conjunto de transformador electrónico de potencia 20b proporciona una configuración mucho más sencilla debido a la reducción en el número de conexiones de terminales de corriente alterna con la red de corriente alterna 30 a la vez que realiza funciones similares al transformador electrónico de potencia 20a mostrado en la figura 1. Además, la estructura de transformador interconectando la red de corriente alterna 30 y el transformador electrónico de potencia 20b puede ser simplificada omitiendo el conjunto de bobinados terciarios 58 mostrados en las figuras 1 y 6.

60 Como se describió anteriormente, los tiristores de línea conmutada 36 son controlables para realizar los procesos de rectificación e inversión conectando y desconectando las porciones de columna primera y segunda 60, 62 del circuito para generar una forma de onda de tensión en el primer terminal de corriente alterna 28 respectivo.

65 Las operaciones de conmutación en los módulos de cadena de eslabones 44 pueden ser configuradas de modo que la inserción y circunvalación de los condensadores 46 se coordine con la conmutación de los tiristores de línea conmutada 36 para formar una aproximación en escalones de, por ejemplo, una forma de onda sinusoidal en los primeros terminales

- de corriente alterna 28 respectivos. Para generar componentes positivos o negativos de una forma de onda sinusoidal, la tensión de salida debe ser formada aumentando o disminuyendo el número de condensadores 46 insertados en el transformador de cadena de eslabones 38, y cambiar así la tensión del transformador de cadena de eslabones. El cambio en la tensión del transformador de cadena de eslabones se puede observar en los aumentos o disminuciones en
- 5 escalón de la tensión de salida en el primer terminal de corriente alterna 28. La aproximación en escalones de la forma de onda de tensión puede ser mejorada utilizando un mayor número de módulos 44 con menores niveles de tensión para aumentar el número de escalones de tensión.
- Cada transformador de cadena de eslabones 38 es operable preferiblemente para generar una tensión que desfase la
- 10 tensión a través de un tiristor de línea conmutada 36, y minimizar así la tensión a través del tiristor de línea conmutada 36 respectivo. Desfasar la tensión a través del tiristor de línea conmutada 36 puede minimizar igualmente las pérdidas de conmutación debidas a la conmutación del tiristor de línea conmutada 36 entre estados de encendido y apagado y para reducir esfuerzos de tensión a través del tiristor de línea conmutada 36 cuando está en un estado apagado.
- 15 En el punto de conmutación de tiristores de línea conmutada 36 en ambas porciones de columna 60, 62 entre estados encendido y apagado, el transformador de cadena de eslabones 38 asociado en la porción de columna 60, 62 respectiva puede ser operado para generar una tensión tal que todo el intervalo de tensión de la red de corriente continua 26,  $V_{DC}$ , se opone a la tensión proporcionada por los transformadores de cadena de eslabones 38 en ambas porciones de
- 20 columna 60, 62. Como resultado, hay una tensión cero o mínima a través de los tiristores de línea conmutada 36 de las porciones de columna primera y segunda 60, 62 cuando los tiristores de línea conmutada 36 conmutan de un estado al otro. Conmutar a una tensión próxima a cero minimiza pérdidas asociadas con la conmutación de los tiristores de línea conmutada 36.
- Esta característica es ventajosa ya que permite que los tiristores de línea conmutada 36 conmuten a una tensión próxima
- 25 a cero, y minimiza así las pérdidas de conmutación y la interferencia electromagnética. Como el uso de conmutación próxima a tensión cero reduce igualmente los errores de tensión compartida y la velocidad de cambio de tensión que ven los tiristores de línea conmutada 36, esto hace posible simplificar el diseño de equipo físico del transformador y de componentes de amortiguación asociados.
- 30 Cuando un tiristor de línea conmutada 36 de una porción de columna 60, 62 está en un estado apagado, la porción de columna 60, 62 soporta una tensión igual a la diferencia entre la tensión de salida en el primer terminal de corriente alterna 28 respectivo y la tensión de corriente continua en el terminales de corriente continua 24 respectivo. El transformador de cadena de eslabones puede ser configurado para generar una tensión que se opone a la tensión a
- 35 través de la porción de columna 60, 62 para minimizar el esfuerzo de tensión a través del tiristor de línea conmutada 36 en el estado apagado. Esto es debido a que la capacidad de tensión de cada porción de columna 60, 62 es una combinación de la capacidad de tensión del transformador de cadena de eslabones 38 respectivo y la tensión nominal del tiristor de línea conmutada 36 respectivo, y puede ser distribuida de un modo no simétrico si se desea.
- Se prevé que tal uso de transformadores de cadena de eslabones 38 para desfasar la tensión a través de tiristores de
- 40 línea conmutada 36 con el fin de minimizar las pérdidas de conmutación y los esfuerzos de tensión a través de los tiristores de línea conmutada 36 es aplicable igualmente a otros modos de realización del transformador electrónico de potencia híbrido.
- Se prevé que en otros modos de realización de la invención, el transformador electrónico de potencia puede incluir
- 45 múltiples columnas de transformador, estando conectado el primer terminal de corriente alterna de cada columna de transformador, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna multifásica, o incluyendo una única columna de transformador un primer terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una red de corriente alterna monofásica.
- 50 Alternativamente, el transformador electrónico de potencia 20c puede incluir dos columnas de transformador 22 e incluir además un par de condensadores enlazados de corriente continua 64 conectados en serie entre los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b de cada columna de transformador 22 y conectados en paralelo con cada
- 55 columna de transformador 22, definiendo un punto intermedio entre los condensadores enlazados de corriente continua 64 un tercer terminal de corriente alterna 66 para su conexión, en uso, a una fase de la red de corriente alterna 30, como se muestra en la figura 8.
- Sintetizar formas de onda en los primeros terminales de corriente alterna 28 de las dos columnas de transformador 22 da
- 60 como resultado la generación de una tercera forma de onda de tensión en el tercer terminal de corriente alterna 66 entre los condensadores enlazados de corriente continua 64. Si las dos formas de onda sintetizadas tienen perfiles y magnitudes idénticos, la tercera forma de onda compartirá el mismo perfil y magnitud de forma de onda que las formas de onda sintetizadas.
- En circunstancias en las que las formas de onda sintetizadas en los primeros terminales de corriente alterna 28 de las
- 65 dos columnas de transformador 22 son idénticas en perfil y magnitud, la forma de onda generada en el tercer terminal de corriente alterna 66 compartirá el mismo perfil y magnitud de forma de onda.

En circunstancias en las que el transformador electrónico de potencia se utiliza para proporcionar o extraer potencia real y potencia reactiva equilibradas de las tres fases de una red de corriente alterna 30, los perfiles de las formas de onda sintetizadas son preferiblemente sinusoidales para corresponderse con el perfil convencional de forma de onda de una alimentación de corriente alterna trifásica.

5 En un transformador electrónico de potencia trifásico convencional, los conmutadores en cada columna de transformador 22 se operan con un desplazamiento de ángulo de fase de 120 grados eléctricos para asegurar un suministro de potencia constante en cada ciclo.

10 Los tiristores de línea conmutada 36 y los transformadores de cadena de eslabones 38 de las dos columnas de transformador 22 pueden ser operados con un desplazamiento de ángulo de fase entre las fases de las formas de onda sintetizadas, siendo el desplazamiento de ángulo de fase preferiblemente de 60 grados eléctricos.

15 El funcionamiento del transformador electrónico de potencia 20c puede ser explicado con referencia a los diagramas de vectores mostrados en las figuras 9a y 9b, que asumen que el tercer terminal de corriente alterna 66 está conectado a tierra (0 V).

20 El transformador electrónico de potencia 20c es operado con un desplazamiento de ángulo de fase de 60 grados eléctricos entre las formas de onda sintetizadas en los primeros terminales de corriente alterna 28 de las dos columnas de transformador 22. El ángulo entre los vectores mostrados en las figuras 9a y 9b es igual al desplazamiento de ángulo de fase entre las formas de onda sintetizadas.

25 En referencia la figura 9a, la tensión VA en el primer terminal de corriente alterna 28 de una de las dos columnas de transformador 22 es igual una unidad de tensión con respecto a la tensión cero en el tercer terminal de corriente alterna 66.

30 La tensión VB en el primer terminal de corriente alterna 28 de la otra de las dos columnas de transformador 22 es asimismo igual a una unidad de tensión con respecto a la tensión cero en el tercer terminal de corriente alterna 66, a 60 grados con respecto al vector que conecta VA con VB.

Una tensión neutra VN se calcula promediando las tres tensiones en los primeros terminales de corriente alterna 28 de las dos columnas de transformador 22 y el tercer terminal de corriente alterna 66. Así pues, VN es igual a 0,577 unidades de tensión a 30 grados con respecto al vector que conecta VA y VB y el vector que conecta VC y VB.

35 En referencia a la figura 9b, las tensiones neutras del lado de corriente alterna VAN, VBN y VCN en cada terminal de corriente alterna, con respecto a la tensión neutra VN, es igual a 0,577 unidades de tensión. El desplazamiento de ángulo entre dos vectores cualesquiera es igual a 120 grados, lo que sigue el desplazamiento de ángulo de fase entre formas de onda en un transformador electrónico de potencia trifásico convencional.

40 El transformador electrónico de potencia 20c funciona por lo tanto como un transformador electrónico de potencia trifásico 20c al utilizar tensiones neutras del lado de corriente alterna VAN, VBN y VCN.

45 Se prevé que los tiristores de línea conmutada 36 y los transformadores de cadena de eslabones 38 de las dos columnas de transformador 22 puedan ser controlados para funcionar a 60 grados eléctricos o a otro desplazamiento de ángulo de fase, y producir independientemente formas de onda sinusoidales o con otro perfil permite extraer diferentes cantidades de potencia real y reactiva de las tres fases de una red de corriente alterna 30 conectada al lado de corriente alterna del transformador electrónico de potencia 20c.

50 Piezas del transformador tales como condensadores e inductores solo son necesarias para las dos columnas de transformador 22. Además, se pueden reducir enlaces de comunicaciones entre el transformador electrónico de potencia y un controlador global. Esta reducción de piezas del transformador da como resultado mejoras en el coste, envolvente espacial y eficiencia funcional, en comparación con configuraciones convencionales de transformadores trifásicos que requieren piezas del transformador para las tres columnas de transformador.

55 En la figura 10, un primer bloque de transformador 32 está conectado en paralelo con un segundo bloque de transformador 34 para formar un elemento de transformador monofásico. El primer bloque de transformador 32 consiste en dos pares conectados en paralelo de tiristores de línea conmutada 36 conectados en serie, definiendo un punto intermedio entre cada par conectado en paralelo de tiristores de línea conmutada 36 conectados en serie un primer terminal de corriente alterna 28 conectado, en uso, a una fase de una red de corriente alterna 30. El segundo bloque de transformador 34 incluye un transformador de cadena de eslabones 38 que, en uso, modifica una tensión presentada al lado de corriente continua del elemento de transformador monofásico para sintetizar una forma de onda que se aproxima mucho a una forma de onda sinusoidal rectificadas en desfase. Esto da como resultado la generación de una onda seno casi perfecta, con una distorsión armónica mínima, en el lado de corriente alterna del elemento de transformador monofásico.

65 El transformador electrónico de potencia 20d mostrado en la figura 10 no requiere por lo tanto de filtros armónicos en el

5 lado de corriente alterna del elemento de transformador monofásico para controlar la calidad de potencia. En ausencia del transformador de cadena de eslabones 38, el elemento de transformador monofásico extraería una corriente de la red de corriente alterna 30 que contendría armónicos de orden superior, tales como los armónicos tercero, quinto, séptimo y noveno, lo que daría como resultado una distorsión armónica indeseable en la forma de onda de tensión en el primer terminal de corriente alterna 28.

10 La generación de una onda seno casi perfecta en el primer terminal de corriente alterna 28 permite que los tiristores de línea conmutada 36 conmuten a una tensión próxima a cero y minimiza así las pérdidas de conmutación durante el funcionamiento normal del transformador electrónico de potencia 20d. Se prevé que en otros modos de realización el transformador de cadena de eslabones 38 pueda ser controlado para sintetizar otras formas de onda dependiendo de la funcionalidad deseada el transformador electrónico de potencia 20d.

15 El uso del transformador de cadena de eslabones 38 en el segundo bloque de transformador 34 significa que el perfil de tensión presentado a los tiristores de línea conmutada 36 está impuesto y controlado por el transformador de cadena de eslabones 38, y es una forma de onda que cambia lentamente en lugar de los escalones de alta tensión que se presentarían de otro modo al tiristor. Por lo tanto esto elimina la necesidad de componentes de tensión compartida grandes e igualados en el diseño del transformador de tiristor principal, y en su lugar da como resultado un equipo físico más sencillo y menos costoso y más eficiente.

20 Tres elementos de transformador monofásicos pueden estar conectados en serie o en paralelo en el lado de corriente continua del circuito para definir una red de corriente continua de dos terminales para la transmisión de potencia eléctrica trifásica. La estructura y función de cada uno de los elementos de transformador monofásicos del transformador trifásico es la misma que en el elemento de transformador monofásico mostrado en la figura 10.

25 Cada uno de los transformadores de cadena de eslabones funciona independientemente y separados 120 grados eléctricos entre sí. En uso, la tensión de salida de corriente continua es la suma de las formas de onda sintetizadas individuales que operan separadas 120 grados eléctricos.

30 Los primeros terminales de corriente alterna 28 respectivos de cada elemento de transformador monofásico pueden estar conectados con un bobinado secundario 56 respectivo de un transformador trifásico, definiendo los bobinados secundarios 56 un bobinado trifásico en estrella, como se muestra en la figura 11.

35 Proporcionar tal configuración da como resultado un transformador electrónico de potencia 20e flexible que no sólo proporciona un flujo bidireccional de potencia entre las redes de corriente alterna y de corriente continua 30, 26, sino que permite asimismo que la corriente en el transformador electrónico de potencia 20e fluya en ambas direcciones en lugar de en una única dirección. Esta configuración del transformador electrónico de potencia es compatible con el uso de transformadores de cadena de eslabones, incluyendo módulos bipolares de cuatro cuadrantes que son capaces de proporcionar tensión positiva, cero o negativa, y que pueden conducir corriente en ambas direcciones.

40 En modos de realización de la invención, el transformador de cadena de eslabones, o cada uno de ellos, puede ser operado para generar una tensión del lado de corriente continua para compensar efectos de regulación del lado de corriente alterna que darían como resultado de otro modo una caída de tensión del lado de corriente continua provocada normalmente por un aumento del flujo de potencia y corriente en el transformador electrónico de potencia.

45 Preferiblemente, el transformador de cadena de eslabones 38, o cada uno de ellos, es operable para generar una tensión que se oponga al flujo de corriente 68 creado por un fallo 70, en uso, en las redes de corriente alterna o de corriente continua 30, 26, como se muestra en la figura 12. Los módulos 44 de cada transformador de cadena de eslabones 38 pueden ser conectados al circuito para inyectar la tensión opuesta 72 en el transformador electrónico de potencia con el fin de extinguir la corriente de fallo 68 y evitar así daños a los componentes del transformador electrónico de potencia. El fallo puede ser provocado por un fallo de conmutación de una o más válvulas del tiristor en otra estación de transformación, lo que da como resultado tiristores de conducción que se conectan directamente a través de la red de corriente continua 26 para formar una trayectoria de cortocircuito.

55 En el caso de un fallo en la red de corriente continua 26 que resulte en una corriente de fallo 68 elevada en el transformador electrónico de potencia, los elementos de conmutación auxiliares de cada módulo 44 de uno o más transformadores de cadena de eslabones 38 pueden ser operados para insertar los módulos de puente completo 44 con el fin de inyectar una tensión 72 que se oponga a la tensión de ataque de la red de corriente alterna 30 sin fallos, y reducir así la corriente de fallo 68 en el transformador electrónico de potencia.

60 Por ejemplo, como se muestra en la figura 12, un cortocircuito 70 que tiene lugar a través de la red de corriente continua 26 da como resultado la caída a cero voltios de ambas tensiones en los terminales positivo y negativo de la red de corriente continua 26. Cuando esto ocurre, puede fluir una elevada corriente de fallo 68 de la red de corriente alterna 30 a través de la primera porción de columna 60 de una columna de transformador 22, y volver a la red de corriente alterna 30 a través del cortocircuito 70 y la segunda porción de columna 62 de otra columna de transformador.

65 La baja impedancia de cortocircuito significa que la corriente de fallo 68 que fluye en el transformador electrónico de

potencia puede superar la corriente nominal del transformador electrónico de potencia.

La corriente de fallo 68 puede ser minimizada oponiendo la tensión de ataque de la red de corriente alterna 30. Esto se lleva a cabo configurando los elementos auxiliares de conmutación de cada módulo de cadena de eslabones 44 de tal modo que los módulos 44 se insertan en el transformador de cadena de eslabones 38 respectivo para proporcionar una tensión que se opone a, y reduce así, la tensión de ataque.

El uso de los componentes del transformador electrónico de potencia para llevar a cabo tanto la conversión de tensión como la extinción de corrientes de fallos 68 simplifica o elimina la necesidad de equipo de circuito de protección separado, tal como un disyuntor de circuito o aislante. Esto conduce a ahorros en términos de tamaño, peso y costes del equipo físico. Además, las capacidades de conmutación rápida de los elementos de conmutación autoconmutados permiten que el transformador de cadena de eslabones 38 responda rápidamente al desarrollo de fallos en las redes de corriente alterna o de corriente continua 30, 26 y proporciona la tensión opuesta 72 para extinguir la corriente de fallo 68.

Preferiblemente, el transformador electrónico de potencia incluye además al menos un mecanismo de derivación asociado funcionalmente con un transformador auxiliar.

La inclusión de un mecanismo de derivación dota al transformador auxiliar asociado de una protección adicional frente a fallos en el caso de que el transformador auxiliar sea incapaz de generar la tensión requerida para oponerse y reducir la tensión de ataque con el fin de reducir la corriente de fallo, o en el caso de un fallo de conmutación de tiristores 36 en el transformador electrónico de potencia que conduciría de otro modo a que se aplicara una elevada tensión directamente al transformador auxiliar.

El transformador electrónico de potencia mostrado en la figura 12 incluye un mecanismo de derivación conectado en paralelo con uno de sus transformadores de cadena de eslabones 38. En uso, el mecanismo de derivación es operable para provocar un cortocircuito a través del mecanismo de derivación. El cortocircuito forma una trayectoria alternativa para el flujo de corriente del transformador, y por tanto causa que la corriente del transformador circunvale el transformador de cadena de eslabones 68.

Proporcionar una trayectoria alternativa para la corriente del transformador protege el transformador de cadena de eslabones de una corriente de fallo elevada o de una alta tensión, que puede provocar daños en el transformador de cadena de eslabones.

El cortocircuito se forma activando un conmutador 71 en el mecanismo de derivación para provocar el cortocircuito a través del conmutador 71 activado. La activación del conmutador 71 puede ser realizada manualmente por un operario o automáticamente tras la detección de un fallo en las redes de corriente alterna o de corriente continua 30, 26 o en el transformador electrónico de potencia.

El conmutador 71 del mecanismo de derivación adopta preferiblemente la forma de un conmutador de derivación mecánico o un conmutador de semiconductor.

Se prevé que en modos de realización que emplean transformadores auxiliares múltiples, el transformador electrónico de potencia puede incluir una pluralidad de mecanismos de derivación, siendo operable cada mecanismo de derivación en asociación con uno de los transformadores auxiliares respectivos.

Preferiblemente, al menos un tiristor de línea conmutada 36 está conectado en paralelo con un segundo bloque de transformador 34 que incluye un transformador de cadena de eslabones 38, como se muestra en la figura 13. El transformador de cadena de eslabones 38 del segundo bloque de transformador 34 es operable para proporcionar una tensión de conmutación para conmutar el tiristor de línea conmutada 36 asociado a un estado apagado. El uso de elementos de conmutación autoconmutados para ayudar al apagado del tiristor de línea conmutada 36 asociado proporciona una mejora en el control de los procesos de conmutación, y por lo tanto una mejora en el funcionamiento y eficiencia.

Se prevé que el primer bloque de transformador puede incluir además al menos un diodo, o los tiristores de línea conmutada del primer bloque de transformador pueden ser sustituidos por diodos, de modo que se forme un transformador electrónico de potencia que incluye al menos un primer bloque de transformador que incluya una pluralidad de diodos o una combinación de tiristores de línea conmutada y diodos. La figura 14 muestra un transformador electrónico de potencia 20f que es similar al transformador electrónico de potencia 20a mostrado en la figura 1, excepto porque todos los tiristores de línea conmutada han sido sustituidos por diodos 74. La sustitución de los tiristores de línea conmutada en el primer bloque de transformador 32 por diodos 74 da como resultado un transformador electrónico de potencia 20f con características de transferencia asimétricas.

En la figura 14, el transformador electrónico de potencia 20f comprende una columna de transformador 22 que incluye terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b para su conexión, en uso, a una red de corriente continua 26, y primeros terminales de corriente alterna 28 para su conexión, en uso, a una red de corriente alterna 30.

La columna de transformador 22 incluye un primer bloque de transformador 32 y un segundo bloque de transformador 34, conectados en serie entre los terminales de corriente continua primero y segundo 24a, 24b para definir una red de corriente continua de dos terminales para la transmisión de potencia eléctrica trifásica.

5 El primer bloque de transformador 32 incluye tres pares de diodos 74 conectados en paralelo. Un punto intermedio entre cada par de diodos 74 define un primer terminal de corriente alterna 28 para su conexión, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna trifásica 30.

10 El segundo bloque de transformador 34 incluye tres transformadores auxiliares conectados en paralelo, siendo cada transformador auxiliar un transformador de cadena de eslabones que incluye una cadena de módulos conectados en serie. Un punto intermedio de cada transformador de cadena de eslabones define un segundo terminal de corriente alterna 40 para su conexión, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna 30.

15 Durante la transferencia de potencia de la red de corriente alterna 30 a la red de corriente continua 26, el primer bloque de transformador 32 se comporta como un rectificador para efectuar la conversión de potencia de corriente alterna a potencia de corriente continua. El primer bloque de transformador 32 no puede actuar, sin embargo, como un inversor para transferir potencia de la red de corriente continua 26 a la red de corriente alterna 30. Cuando la polaridad de la red de corriente continua 26 se invierte, tal que ambos diodos 74 en cada par de diodos conectados en serie 74 se polarice en directa, se forma un cortocircuito a través del primer bloque de transformador 32. Consecuentemente, no hay tensión a través del primer bloque de transformador 32 y no fluye potencia a la red de corriente alterna 30 desde el primer bloque de transformador 32.

20 El segundo bloque de transformador 34 proporciona un flujo de potencia limitado de la red de corriente continua 26 a la red de corriente alterna 30 como resultado de la capacidad de los módulos bipolares de cuatro cuadrantes del segundo bloque de transformador 34 de proporcionar flujo de potencia bidireccional.

30 Tales transformadores electrónicos de potencia 20f son adecuados para aplicaciones tales como parques eólicos, que están fuertemente orientadas a la exportación de potencia de una red de corriente alterna 30 a una red de corriente continua 26 y sólo requiere una entrada mínima de potencia. Consecuentemente, piezas del transformador que serían necesarias de otro modo para facilitar la transferencia de potencia de la red de corriente continua 26 a la red de corriente alterna 30 pueden ser omitidas, lo que da como resultado ahorros en términos de tamaño, peso y coste.

35 Se prevé que en otros modos de realización, el transformador electrónico de potencia 20f pueda incluir múltiples columnas de transformador 22, incluyendo cada columna de transformador 22 al menos un primer terminal de corriente alterna 28 para su conexión, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna multifásica 30.

**REIVINDICACIONES.**

1. Un transformador electrónico de potencia (20a) para su uso en la trasmisión de potencia de corriente continua de alta tensión y la compensación de potencia reactiva, que comprende al menos una columna de transformador (22) que incluye terminales de corriente continua primero y segundo (24a, 24b) para su conexión, en uso, a una red de corriente continua (26), incluyendo la columna de transformador (22), o cada uno de ellas, al menos un primer bloque de transformador (32) y al menos un segundo bloque de transformador (34) conectados entre los terminales de corriente continua primero y segundo (24a, 24b); incluyendo el primer bloque de transformador (32), o cada uno de ellos, una pluralidad de tiristores de línea conmutada (36) y al menos un primer terminal de corriente alterna (28) para su conexión, en uso, con una red de corriente continua (30), incluyendo el segundo bloque de transformador (24), o cada uno de ellos, al menos un transformador auxiliar, siendo el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, un transformador de cadena de eslabones, incluyendo el transformador de cadena de eslabones, o cada uno de ellos, una cadena de módulos conectados en serie, incluyendo cada módulo dos pares de elementos de conmutación conectados en paralelo con un dispositivo de almacenamiento de energía en una configuración de puente completo para definir un módulo bipolar de dos cuadrantes que puede proporcionar tensión positiva o negativa y que pueda conducir corriente en una dirección, incluyendo cada par de elementos de conmutación un elemento de conmutación autoconmutado y un diodo conectado en serie, en el que los elementos de conmutación autoconmutados son controlables, en uso, de tal modo que la cadena de módulos conectados en serie, o cada uno de ellos, proporciona una fuente de tensión variable continuamente para modificar una tensión de corriente continua presentada al lado de corriente continua de la columna de transformador (22) y/o modificar una tensión de corriente alterna y una corriente alterna en el lado de corriente alterna del transformador.
2. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo de almacenamiento de energía, o cada uno de ellos, incluye un condensador, una célula de combustible, una batería o un generador de corriente alterna auxiliar con un rectificador asociado.
3. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que cada elemento de conmutación autoconmutado incluye un dispositivo semiconductor.
4. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el dispositivo semiconductor es un transistor bipolar de puerta aislada, un tiristor bloqueante, un transistor de efecto campo o un tiristor integrado conmutado por puerta.
5. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, es operable para generar una tensión que desfase la tensión a través de un tiristor de línea conmutada y minimice así la tensión a través del tiristor de línea conmutada respectivo.
6. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, es operable para generar una tensión que se oponga al flujo de corriente creado por un fallo, en uso, en las redes de corriente alterna o de corriente continua.
7. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer bloque de transformador, o cada uno de ellos, incluye uno o más conjuntos conectados en paralelo de tiristores de línea conmutada conectados en serie.
8. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que un punto intermedio entre los tiristores de línea conmutada conectados en serie del conjunto conectado en paralelo, o de cada uno de ellos, define un primer terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna.
9. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que un primer bloque de transformador se conecta en serie con un segundo bloque de transformador en el lado de corriente continua del circuito para definir una red de corriente continua de dos terminales para la transmisión de potencia eléctrica multifásica, incluyendo el primer bloque de transformador una pluralidad de conjuntos conectados en paralelo de tiristores de línea conmutada conectados en serie, estando conectado el primer terminal de corriente alterna de cada conjunto conectado en paralelo a una fase respectiva de la red de corriente alterna, incluyendo el segundo bloque de transformador una pluralidad de transformadores auxiliares, incluyendo cada transformador auxiliar un segundo terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna, en el que el conjunto conectado en paralelo de tiristores de línea conmutada conectados en serie, o cada uno de ellos, y el transformador auxiliar, o cada uno de ellos, son operables para modificar una tensión de corriente alterna de la fase asociada de la red de corriente alterna.
10. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 9 cuando depende de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que un punto intermedio de cada transformador de cadena de eslabones define un segundo terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase respectiva de la red de corriente alterna.



- 5 11. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que el transformador electrónico de potencia está conectado, en uso, con la red de corriente alterna por medio de un transformador tal que los primeros terminales de corriente alterna del primer bloque de transformador se conectan, en uso, con bobinados secundarios del transformador, y los segundos terminales de corriente alterna del segundo bloque de transformador se conectan, en uso, con bobinados terciarios del transformador.
- 10 12. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la columna de transformador, o cada una de ellas, incluye un primer bloque de transformador conectado en serie entre dos segundos bloques de transformador para definir porciones de columna primera y segunda, incluyendo cada porción de columna al menos un tiristor de línea conmutada conectado en serie con un transformador auxiliar entre uno de los terminales de corriente continua primero y segundo respectivo y los primeros terminales de corriente alterna respectivos, siendo operable cada tiristor de línea conmutada y cada transformador auxiliar de cada porción de columna para conectar y desconectar la porción de columna respectiva al circuito para generar una forma de onda de tensión en el terminal de corriente alterna respectivo.
- 15 13. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la columna de transformador, o cada una de ellas, incluye dos segundos bloques de transformador conectados en serie entre los tiristores de línea conmutada del primer bloque de transformador respectivo para definir porciones de columna primera y segunda, definiendo un punto intermedio entre los bloques de transformador primero y segundo el primer terminal de corriente alterna de la columna de transformador, o de cada una de ellas, incluyendo cada porción de columna al menos un tiristor de línea conmutada conectado en serie con un transformador auxiliar entre uno de los terminales de corriente continua primero y segundo respectivo y los primeros terminales de corriente alterna respectivos, siendo operable cada tiristor de línea conmutada y cada transformador auxiliar de cada porción de columna para conectar y desconectar la porción de columna respectiva del circuito para generar una forma de onda de tensión en el primer terminal de corriente alterna respectivo.
- 20 25 14. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 12 o la reivindicación 13, que incluye múltiples columnas de transformador, estando conectado el primer terminal de corriente alterna de cada columna de transformador, en uso, a una fase respectiva de una red de corriente alterna multifásica.
- 30 15. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 14, que incluye dos columnas de transformador y que incluye además un par de condensadores enlazados de corriente continua conectados en serie entre los terminales de corriente continua primero y segundo de cada columna de transformador y conectados en paralelo con cada columna de transformador, definiendo un punto intermedio entre los condensadores enlazados de corriente continua un tercer terminal de corriente alterna para su conexión, en uso, a una fase de la red de corriente alterna.
- 35 40 16. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un tiristor está conectado en paralelo con un segundo bloque de transformador, siendo operable el transformador auxiliar del segundo bloque de transformador para proporcionar una tensión de conmutación para conmutar el tiristor de línea conmutada asociado a un estado apagado.
- 45 17. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye además al menos un mecanismo de derivación asociado funcionalmente con un transformador auxiliar, en el que el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, es operable para provocar un cortocircuito a través del mecanismo de derivación y provocar así que la corriente del transformador fluya a través del cortocircuito mientras circunvala el transformador auxiliar respectivo.
- 50 18. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 17, en el que el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, es operable para provocar un cortocircuito a través del mecanismo de derivación tras detectar un fallo en las redes de corriente alterna o de corriente continua o en el transformador electrónico de potencia.
- 55 19. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 17 o la reivindicación 18, en el que el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, está conectado en paralelo con el transformador auxiliar respectivo.
- 60 20. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, en el que el mecanismo de derivación, o cada uno de ellos, incluye un conmutador, siendo operable el mecanismo de derivación para activar el conmutador respectivo con el fin de provocar un cortocircuito a través del conmutador activado.
- 65 21. Un transformador electrónico de potencia (20a) de acuerdo con la reivindicación 20, en el que el conmutador es un conmutador de derivación mecánico o un conmutador de semiconductor.

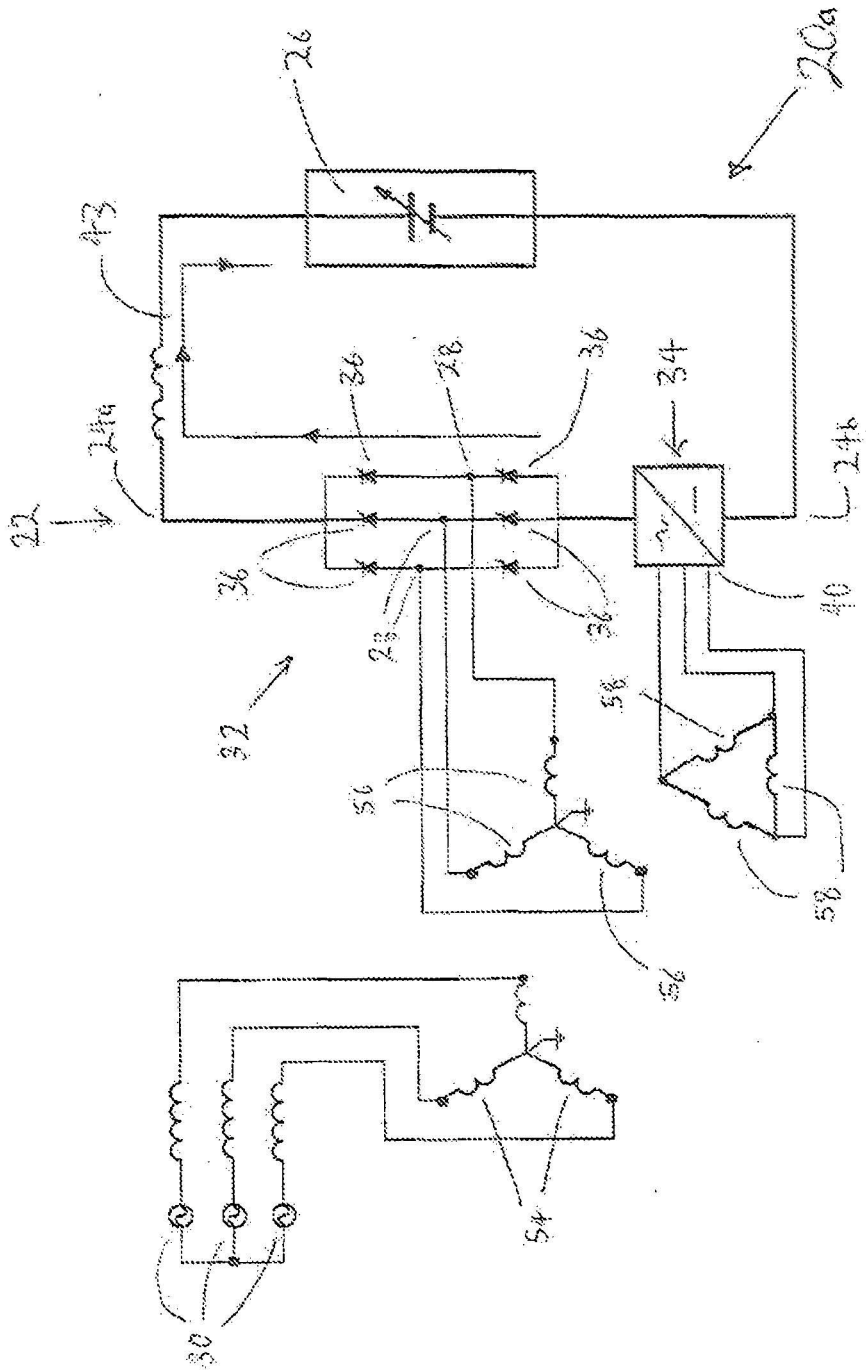
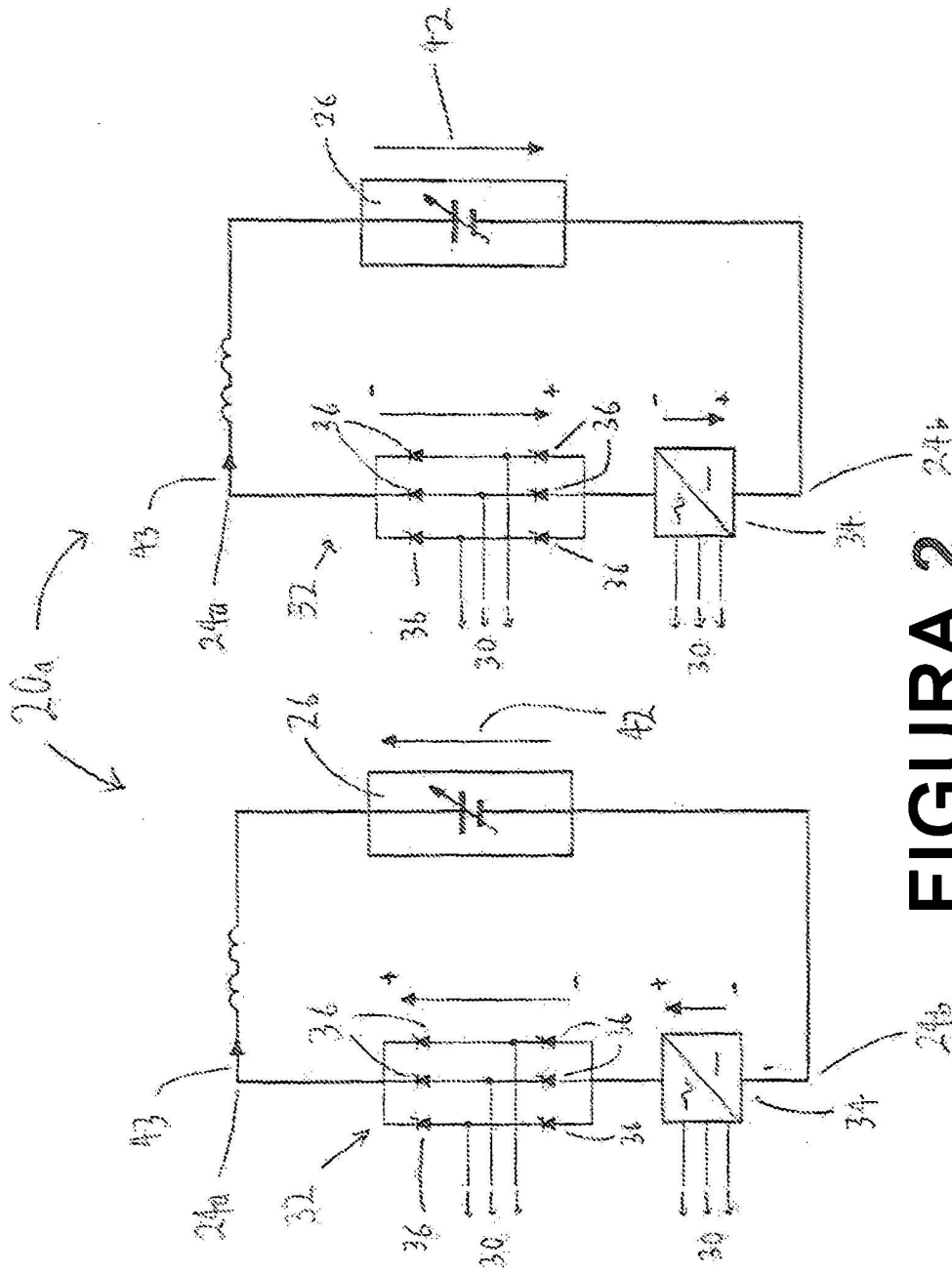
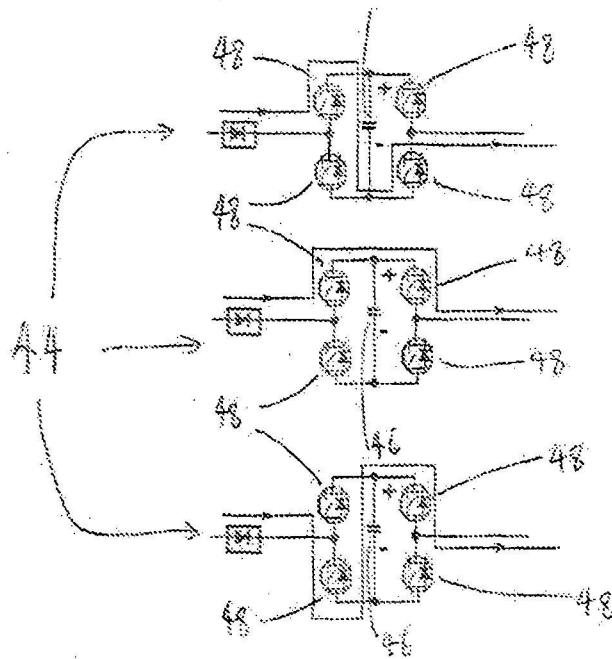


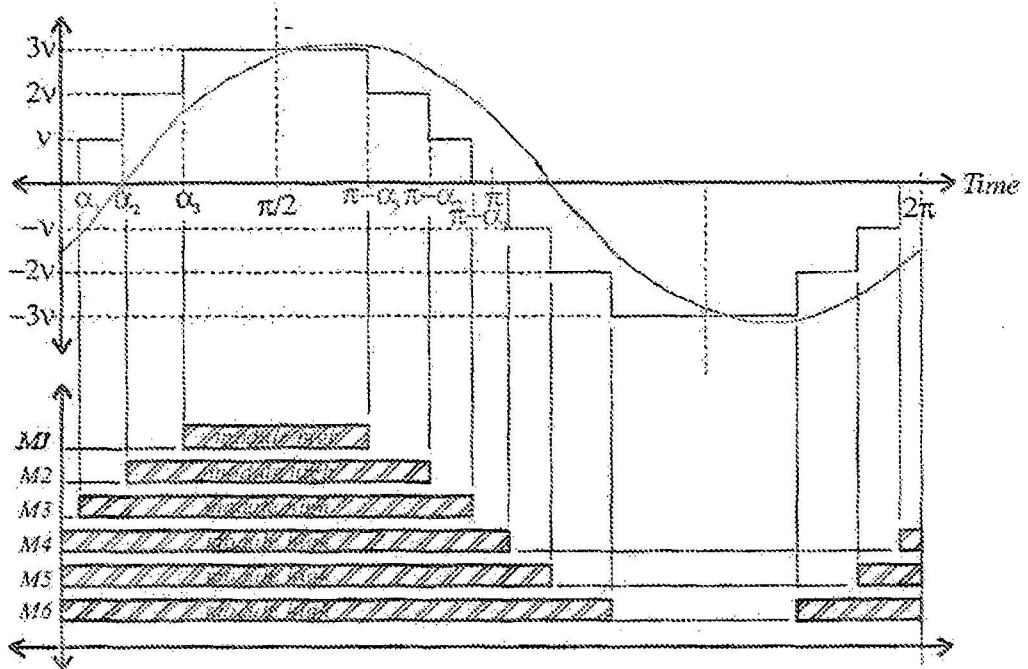
FIGURA 1



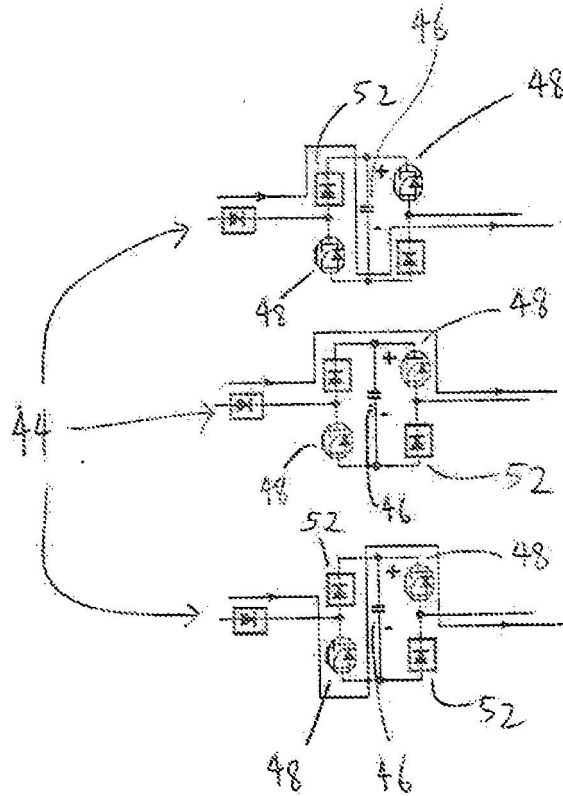
**FIGURA 2**



**FIGURA 3**



**FIGURA 4**



**FIGURA 5**

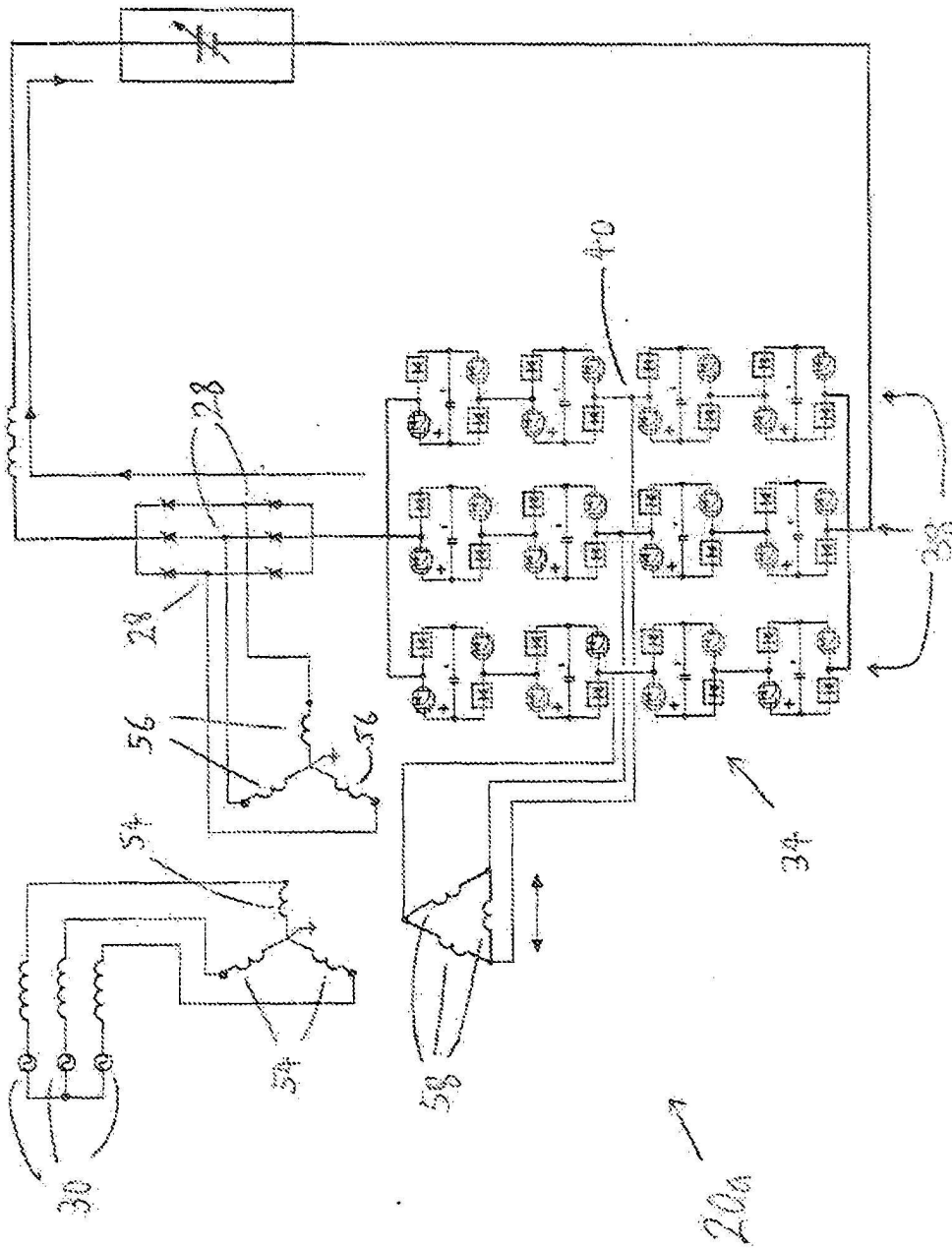


FIGURA 6

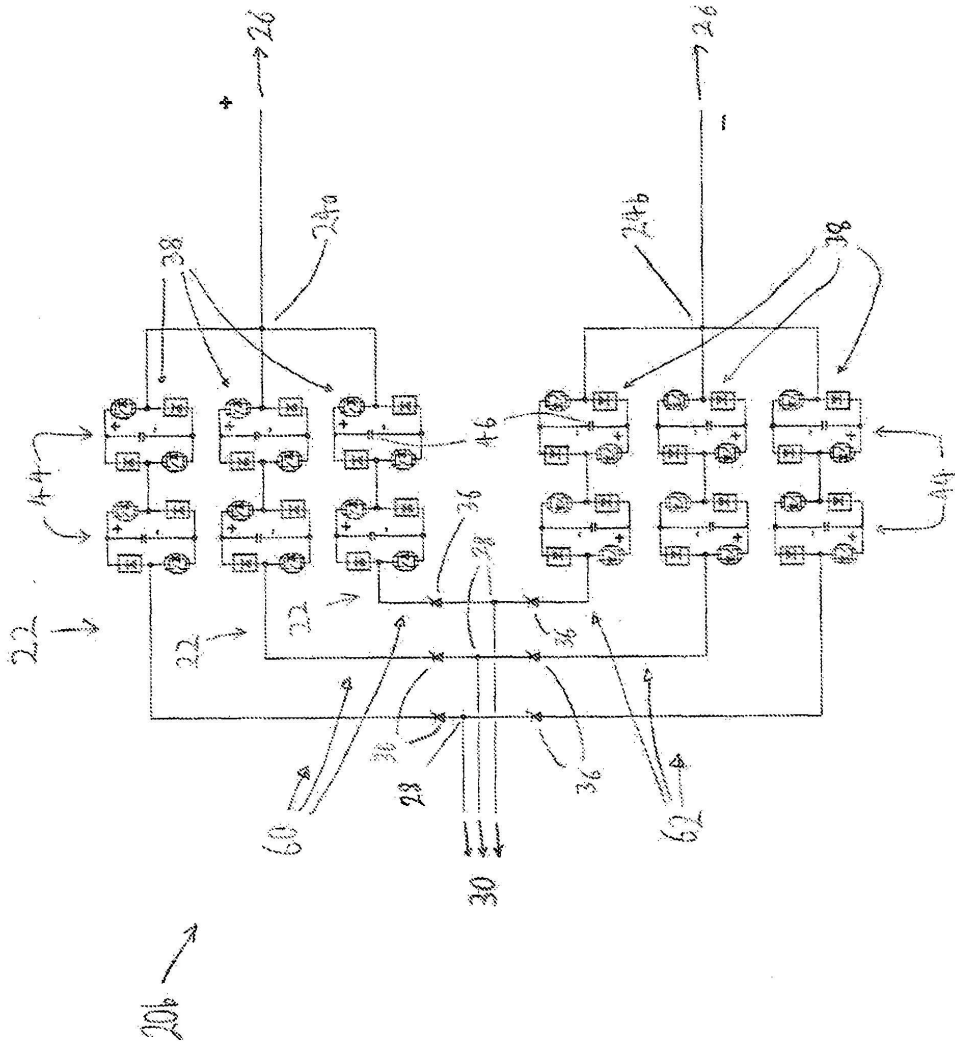
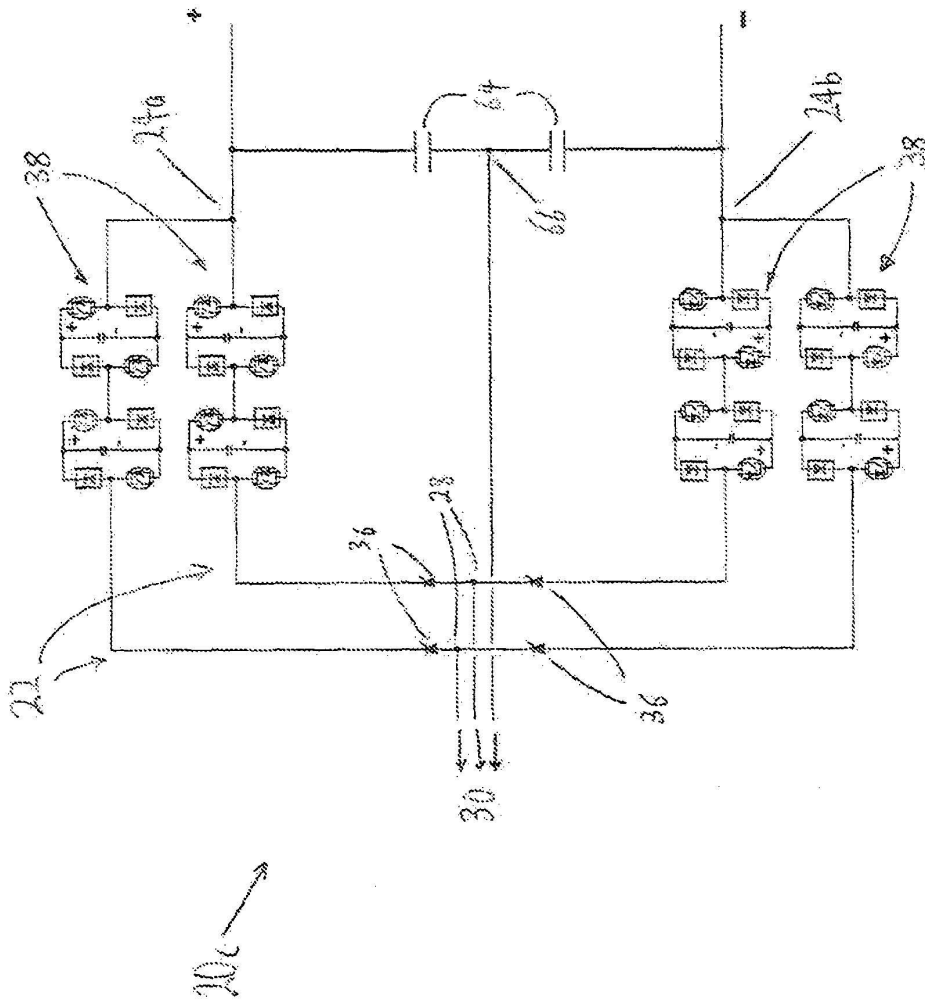
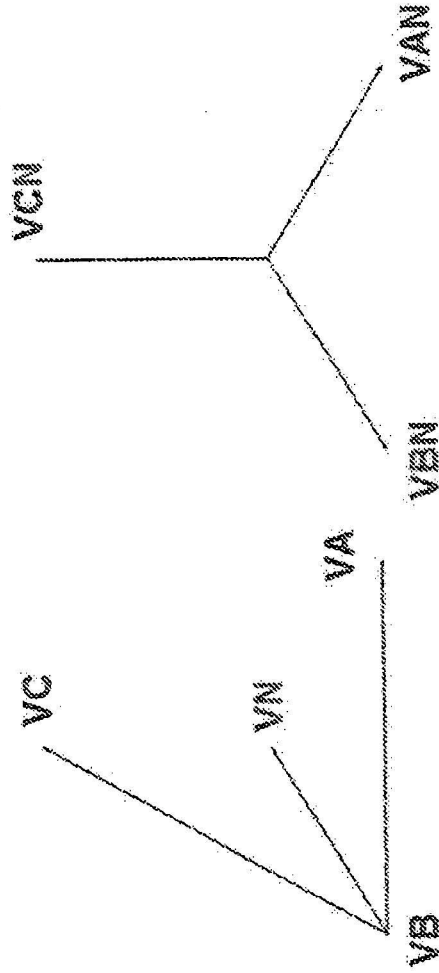


FIGURA 7

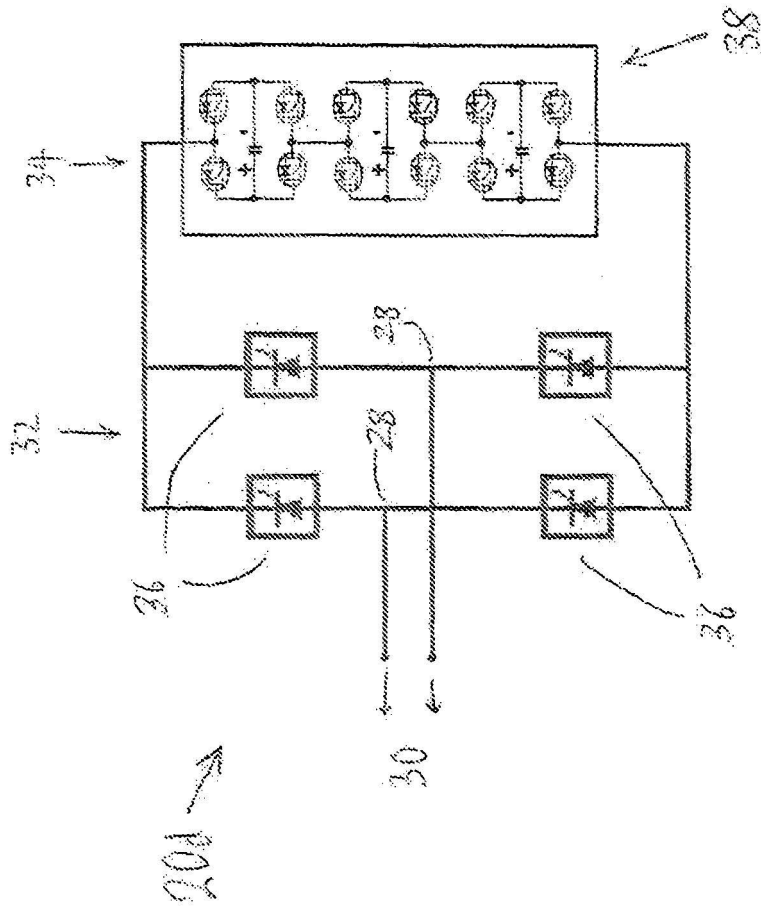


**FIGURA 8**





**FIGURA 9a**      **FIGURA 9b**



**FIGURA 10**

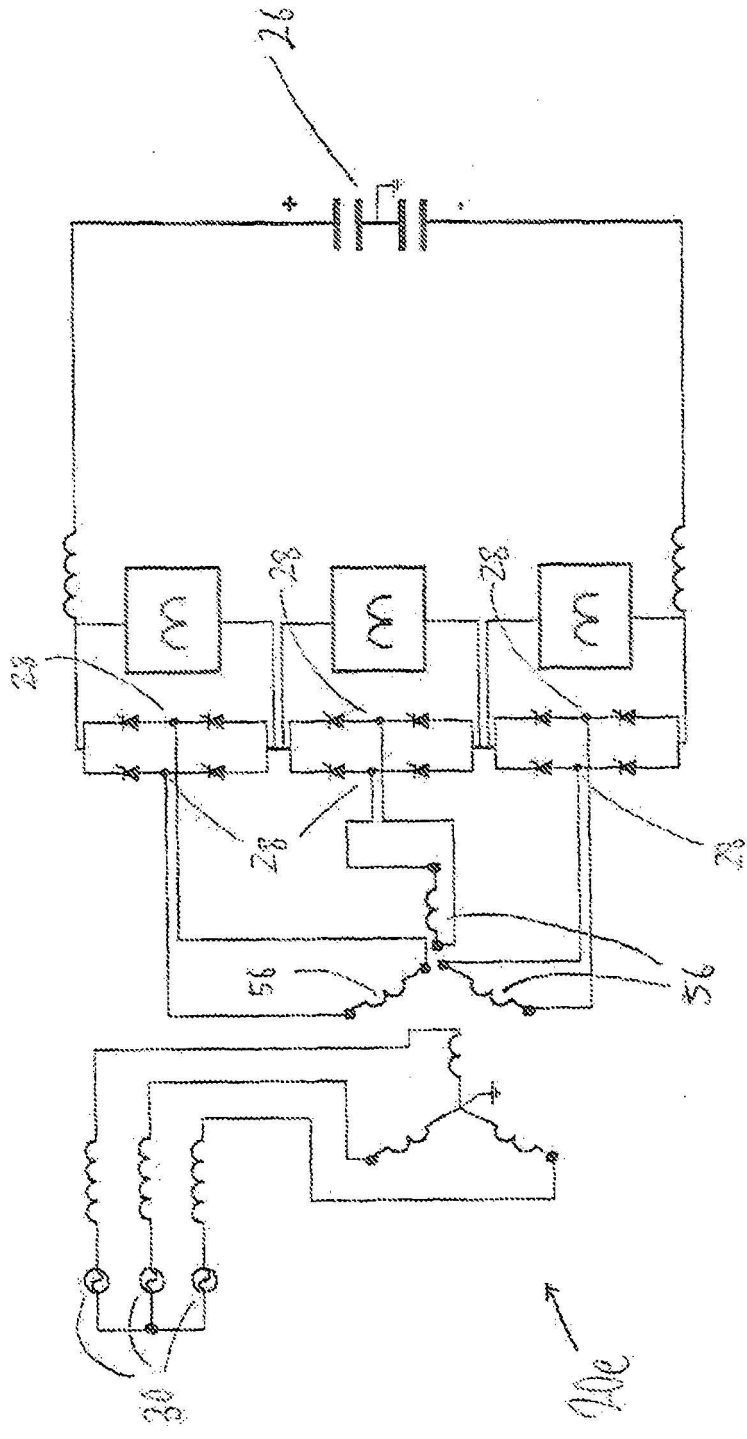


FIGURA 11

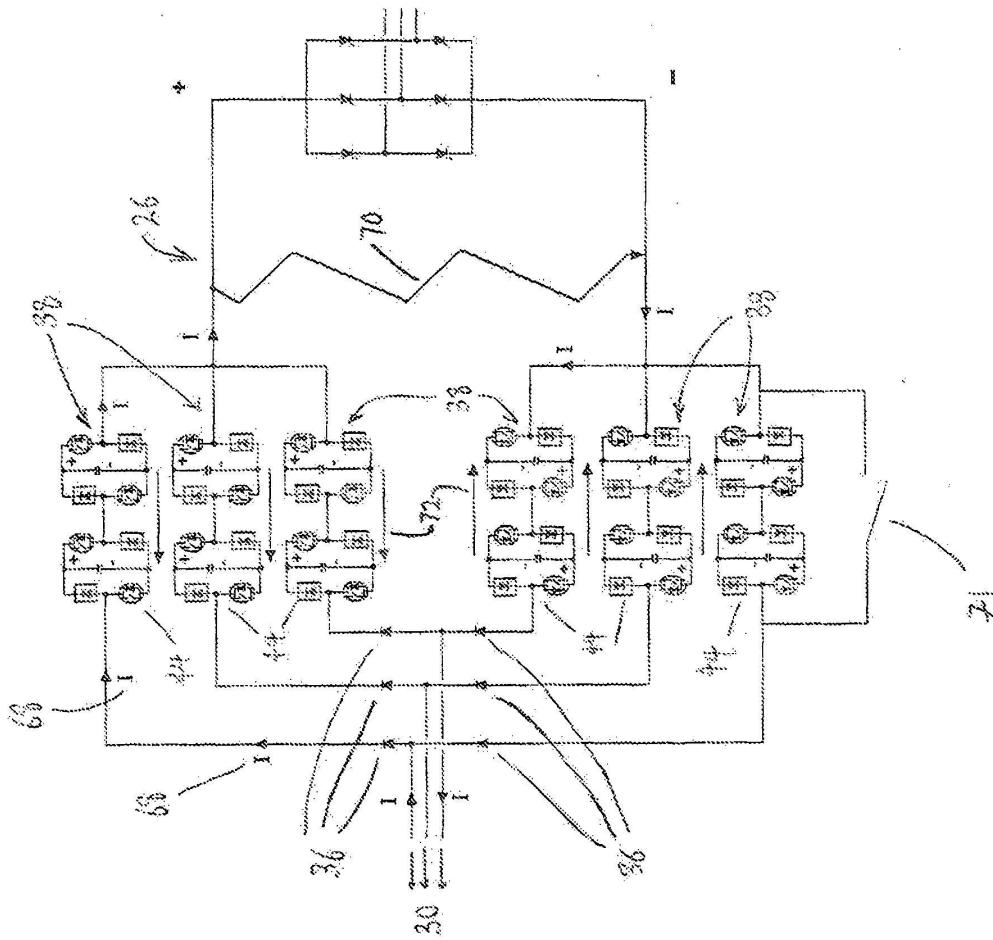
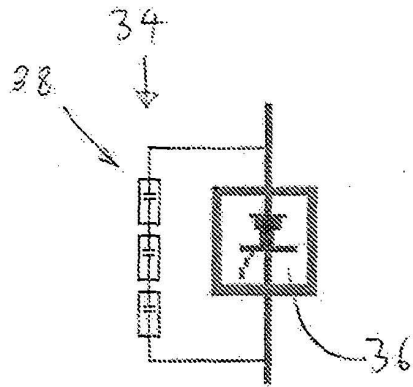
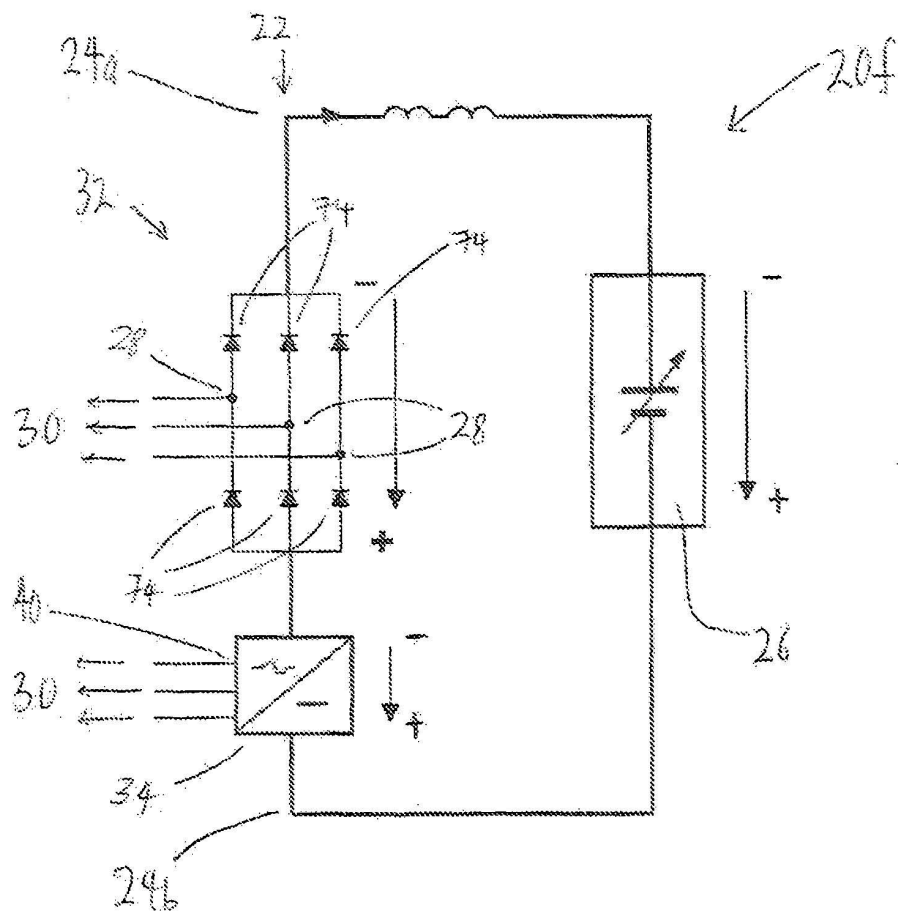


FIGURA 12



**FIGURA 13**



**FIGURA 14**