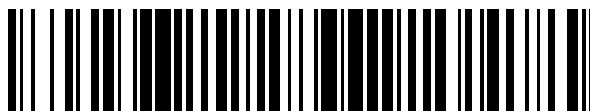


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 948**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)

H02M 7/49 (2007.01)

H02M 1/32 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2014** **PCT/EP2014/062410**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2015** **WO15188877**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2014** **E 14731591 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019** **EP 3132515**

54 Título: **Convertidor para el suministro de potencia reactiva, y procedimiento para su regulación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
06.08.2019

73 Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Strasse 1
80333 München, DE

72 Inventor/es:

PIESCHEL, MARTIN;
SIEGL, CHRISTIAN y
WIESINGER, MARKUS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 721 948 T3

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

DESCRIPCIÓN

Convertidor para el suministro de potencia reactiva, y procedimiento para su regulación

La presente invención hace referencia a un convertidor para la compensación de potencia reactiva, así como a un procedimiento de regulación para un convertidor de este tipo.

5 Esta clase de convertidores se conocen del estado del arte. La solicitud WO 2013/087110 A1 muestra por ejemplo un convertidor con tres ramales de fase, los cuales están conectados entre sí en una conexión en triángulo. Cada
 10 ramal de fase presenta un punto de conexión para la conexión en una fase de una red de tensión alterna trifásica, asignada al mismo. Allí, los ramales de fase están conectados respectivamente a través de inductancias de acoplamiento con una fase asignada de la red de tensión alterna. Cada ramal de fase presenta un módulo de fase
 15 con un circuito en serie de submódulos bipolares; en donde los submódulos están diseñados como, los así denominados, circuitos de puente completo. Cada submódulo presenta, por consiguiente, dos circuitos en serie, conectados uno con otro en paralelo, de unidades de conmutación de semiconductores de potencia; en donde cada
 20 unidad de conmutación de semiconductores de potencia comprende un semiconductor de potencia que puede ser desconectado, así como un diodo antiparalelo. Cada submódulo presenta además un acumulador de energía, en forma de un condensador, que está conectado en paralelo a ambos circuitos en serie. Cada módulo puede activarse de modo que en sus polos cae una tensión, que bien se corresponde con la tensión del condensador, o con la tensión del condensador pero con polaridad inversa, o una tensión nula, o sea una tensión con el valor cero. Con ello, por
 25 medio de una adecuada activación de los submódulos se puede generar una tensión alterna escalonada en los módulos de fase del convertidor. La intensidad de los niveles se corresponde allí con la tensión del condensador. El convertidor conocido comprende además un dispositivo de regulación para regular las corrientes en los ramales de fase del convertidor, de modo que es posible proveer una potencia reactiva inductiva deseada en la red de tensión alterna.

En el caso del convertidor conocido, cada ramal de fase está adicionalmente conectado en la conexión en triángulo con otra fase de la red de tensión alterna de manera directa, o sea sin inductancia de acoplamiento. Si por ejemplo,
 25 la red de tensión alterna conectada, está conectada a tierra con baja resistencia, por ejemplo a través de un transformador neutro, entonces esto puede ocasionar que, en el caso de un contacto a tierra, en el interior del convertidor fluyan corrientes de cortocircuito, lo que puede provocar daños permanentes en los componentes del convertidor. También en el caso de una red de tensión alterna conectada a tierra con una alta resistencia se pueden generar corrientes de cortocircuito entre los ramales de fase por descargas (por ejemplo a causa de ensuciamiento o
 30 material conductor suelto).

En el artículo "Multilevel Optimal Modulation and Dynamic Control Strategies for STATCOMs Using Cascaded Multilevel Inverters" ("Modulación multinivel óptima y estrategias de control dinámico para STATCOMs utilizando inversores multinivel en cascada ") de Qiang Song et al., está descrito un convertidor para el suministro de potencia reactiva en una configuración triangular, en el cual cada ramal de fase presenta dos inductancias de acoplamiento.
 35 Esta solución presenta una desventaja de costes a causa de la duplicación del número de las inductancias de acoplamiento.

El artículo "Classification, Terminology, and Application of the Modular Multilevel Cascade Converter (MMCC)" ("Clasificación, terminología y aplicación del convertidor modular multinivel en cascada (MMCC)") de Hirofumi Akagi describe un convertidor modular multinivel para la conversión AC/DC, cuyos ramales de fase están conectados mediante inductancias de amortiguación con toma central con su lado de corriente alterna.
 40

Por la solicitud US 5 642 275 A se conoce un convertidor para el suministro de potencia reactiva, el cual está conectado con la red de tensión alterna mediante inductancias de conexión. En esta solución resulta desventajoso que los ramales de fase del convertidor están conectados entre sí de manera directa, o sea con baja inductancia, de modo que ante una falla en el interior de un ramal de fase pueden presentarse altas sobretensiones en los otros
 45 ramales de fase.

El objeto de la presente invención consiste en proponer un convertidor de la clase antes mencionada, en el cual el riesgo de daños por corrientes de corto circuito en casos de cortocircuito en el interior del convertidor sea reducido.

El objeto se resuelve mediante un convertidor, el cual conforme a la invención, comprende un primer, un segundo y un tercer ramal de fase, en donde los tres ramales de fase se pueden conectar respectivamente con una fase asignada de una red de tensión alterna, y están conectados entre sí en una conexión en triángulo; en donde cada uno de los ramales de fase presenta un módulo de fase con un circuito en serie de submódulos bipolares; en donde cada submódulo presenta un acumulador de energía, así como al menos un semiconductor de potencia, y se puede controlar de tal modo que en los polos del submódulo cae al menos una tensión de submódulo positiva o al menos una negativa, o una tensión con el valor cero, y una tensión que cae en cada módulo de fase corresponde a la suma
 50 de las tensiones de submódulo que caen en sus submódulos; en donde los submódulos (8) están diseñados como

circuitos de puente completo; en donde el segundo y el tercer ramal de fase están conectados mediante inductancias de acoplamiento con las fases de la red de tensión alterna, asignadas a los mismos, y el primer y el segundo ramal de fase están conectados eléctricamente entre sí mediante un primer par de inductores acoplados magnéticamente, que comprende una primera y una segunda conexión lateral, así como una conexión central; en donde las tres conexiones del primer par de inductores están conectadas en una combinación discrecional con el primer ramal de fase, el segundo ramal de fase y con la fase de la red de tensión alterna asignada al primer ramal de fase; en donde, además, está proporcionado un dispositivo de regulación para la regulación de las corrientes de módulo de fase, que comprende el regulador de corriente asignado a los módulos de fase; una unidad de desacoplamiento dispuesta aguas arriba del regulador de corriente, para desacoplar aritméticamente diferencias de control durante la regulación de las corrientes de módulo de fase en referencia a la dependencia mutua de las corriente de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el primer par de inductores, de modo que, mediante el regulador de corriente, a partir de las diferencias de control desacopladas se pueden derivar variables aritméticas de control desacopladas; una unidad de acoplamiento dispuesta aguas abajo del regulador de corriente, para la corrección de las variables aritméticas de control desacopladas, según el acoplamiento magnético del primer par de inductores, obteniendo tensiones de control corregidas; así como una unidad de control para la activación de los submódulos, de modo que las tensiones que caen en los módulos de fase se pueden ajustar para que se correspondan con la tensiones de control corregidas.

Por lo tanto, en contraposición al convertidor conocido, la inductancia de acoplamiento individual dispuesta en el primer ramal de fase está reemplazada por el primer par de inductores acoplado magnéticamente, el cual conecta eléctricamente el primer y el tercer ramal de fase. Expresado de otra manera, la inductancia de acoplamiento conforma junto con otra inductancia el primer par de inductores. En la regulación de las corrientes de módulo de fase, el acoplamiento magnético entre los dos inductores del primer par de inductores se evalúa mediante el dispositivo de regulación propuesto.

Mediante la disposición del par de inductores propuesta, se puede reducir ventajosamente el peligro de corriente de corto circuito en el convertidor. Si en el tercer ramal de fase se presenta un cortocircuito con respecto al potencial de tierra, entonces por medio del par de inductores y de la inductancia de acoplamiento, la corriente se limita en todos los casos en el tercer ramal de fase. De esta manera se evita, una conexión directa entre una fase de la red de tensión alterna y el punto de contacto a tierra, o sea, un trayecto de corriente que se dirige a través de inductancias sin limitaciones de corriente. De esta manera, se puede evitar un daño de los componentes del convertidor.

El par de inductores acoplado magnéticamente puede estar realizado por ejemplo en forma de dos bobinas de reactancia dispuestas espacialmente próximas. Las bobinas de reactancia pueden ser bobinas con núcleo de aire, aunque también pueden comprender un núcleo ferromagnético común. El par de inductores presenta tres conexiones: una primera y una segunda conexión laterales, así como una conexión central. Aquí, la conexión central está dispuesta en una conexión eléctrica de las dos bobinas de reactancia. Las tres conexiones del par de inductores se asignan a elección al primer ramal de fase, al segundo ramal de fase, así como a la fase de la red de tensión alterna. Por ejemplo, la conexión central puede estar conectada con la fase de la red de tensión alterna asignada al primer ramal de fase, mientras que la primera conexión lateral está conectada con el primer ramal de fase y la segunda conexión lateral con el segundo ramal de fase. Los dos inductores del par de inductores pueden presentar el mismo diseño constructivo, pero también pueden estar contruidos de manera diferente, los mismos pueden, por ejemplo, presentar distintas cantidades de espiras.

La forma constructiva compacta que se hace posible por el par de inductores acoplado magnéticamente, o bien la proximidad espacial de los dos inductores del par de inductores, requiere comparativamente una menor superficie de colocación, lo cual reduce los costes de todo el convertidor.

A partir del acoplamiento magnético entre los dos inductores del primer par de inductores, se genera un acoplamiento de las corrientes en los ramales de fase. En la regulación de las corrientes de módulo de fase debe considerarse esta dependencia a fin de garantizar una toma de potencia reactiva o bien un suministro de potencia reactiva regulados. Según un modelo matemático de regulación, a partir de las ecuaciones de mallas y de nodo en el convertidor resultan las transformaciones entre un sistema de regulación matemático aritmético desacoplado junto con las correspondientes ecuaciones y un sistema de regulación matemático acoplado. De manera apropiada, en particular resulta un sistema de ecuaciones con coeficientes que se corresponden con las constantes de acoplamiento magnético del acoplamiento magnético en el par de inductores, así como con los valores de inductancia de los inductores y las inductancias de acoplamiento. En este contexto, la unidad de desacoplamiento está proporcionada para desacoplar aritméticamente a partir de las diferencias de control acopladas entre sí (ya que se trata de un sistema de ecuaciones lineal, también se pueden utilizar las transformaciones en las corrientes reales y nominales), o sea transferir al sistema matemático desacoplado de corrientes. Las diferencias de control desacopladas se suministran a los reguladores de corriente, los cuales determinan variables aritméticas de control a partir de las diferencias de control. Las variables aritméticas de control no son utilizables por consiguiente para la regulación de las corrientes de módulo de fase, ya que las mismas representan sólo un paso aritmético intermedio. Estas variables de control deben ser corregidas en el siguiente paso según los acoplamientos magnéticos, para conseguir las verdaderas variables de control que se denominan tensiones de control corregidas. Las

correspondientes transformaciones matemáticas se generan nuevamente por las ecuaciones de estado de las corrientes en el convertidor. La unidad de acoplamiento asume la corrección de las variables aritméticas de control. Primero se envían oportunamente las tensiones de control corregidas a la unidad de control, la cual a partir de ellas genera las señales de control para los submódulos individuales de los módulos de fase.

5 Según una forma de ejecución ventajosa de la invención, está proporcionado un segundo par de inductores acoplado magnéticamente el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al segundo ramal de fase y de otra inductancia; y el cual conecta entre sí el primer y el segundo ramal de fase; en donde el
10 segundo par de inductores está provisto de una primera y de una segunda conexión lateral, así como de una conexión central; en donde las tres conexiones del segundo par de inductores están conectadas en combinación discrecional con el primer ramal de fase, el segundo ramal de fase, o con la fase de la red de tensión alterna asignada al segundo ramal de fase. Además, está proporcionado un tercer par de inductores acoplado magnéticamente, el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al tercer ramal de fase y de una inductancia adicional; y el cual conecta entre sí el segundo y el tercer ramal de fase; en donde el tercer par
15 de inductores está provisto de una primera y de una segunda conexión lateral, así como de una conexión central; en donde las tres conexiones del tercer par de inductores están conectadas en combinación discrecional con el segundo ramal de fase, el tercer ramal de fase, o con la fase de la red de tensión alterna asignada al tercer ramal de fase. Aquí, la unidad de desacoplamiento está configurada adicionalmente para desacoplar aritméticamente las diferencias de control en referencia a la dependencia mutua de las corrientes de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el segundo y en el tercer par de inductores, en donde la unidad de acoplamiento está
20 configurada para corregir las variables aritméticas de control desacopladas obtenidas por el regulador de corriente de las diferencias de control desacopladas, conforme al acoplamiento magnético en el primer, segundo y tercer par de inductores obteniendo las tensiones de control corregidas.

En otras palabras, entonces, el primer y el segundo ramal de fase también están conectados entre sí a través de un par de inductores acoplados magnéticamente, de modo que la inductancia de acoplamiento individual en el segundo
25 ramal de fase conforma uno de los inductores del segundo par de inductores. El segundo y el tercer ramal de fase también están conectados entre sí mediante un tercer par de inductores acoplado magnéticamente, de modo que la inductancia de acoplamiento individual en el tercer ramal de fase, conforma uno de los inductores del tercer par de inductores.

De esta manera, en la regulación de las corrientes de módulo de fase en los tres ramales de fase del convertidor se consideran todas las dependencias entre las corrientes a causa de los acoplamientos magnéticos entre los inductores de los tres pares de inductores. Sin una consideración de estas dependencias, no sería posible un funcionamiento regulado del convertidor.

En esta forma de ejecución, resulta particularmente ventajosa la reducción de daños por corrientes de cortocircuito en los tres módulos de fase del convertidor, ya que cada corriente de cortocircuito se limita al menos mediante dos inductancias de los pares de inductores.

De manera preferida, los submódulos están diseñados como circuitos de puente completo; en donde los interruptores semiconductores de potencia de los submódulos son, por ejemplo, transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) o Transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET). En este caso, las tensiones de los submódulos se corresponden con las tensiones del acumulador de energía que caen en el
40 acumulador de energía de los submódulos.

Sin embargo, también es concebible realizar diferentes submódulos para adaptar el convertidor a la respectiva utilización. En este marco, también son posibles submódulos que tengan un diseño constructivo que se diferencie de un puente completo. En particular, se pueden utilizar submódulos en cuyos polos se puedan ajustar mediante un control adecuado varios valores de tensión positivos y/o negativos, por ejemplo un primer y un segundo valor de
45 tensión positivo y/o un primer y un segundo valor de tensión negativo. Ejemplos de este tipo de submódulo se describen en el artículo "Novel DC-AC Converter Topology for Multilevel Battery Energy Storage Systems" ("Nueva topología de convertidor DC-AC para sistemas de almacenamiento de energía a batería multinivel") de M. Gommeringer et al, PCIM Europa 2013. La tensión que cae en el módulo de fase corresponde a la suma de las tensiones de submódulo ajustadas en los submódulos.

Preferentemente, los acumuladores de energía de los submódulos son condensadores de almacenamiento, se prefieren especialmente condensadores de almacenamiento de alta potencia, para poder cumplir mejor las altas exigencias del uso de la alta tensión.

Según una forma de ejecución ventajosa de la invención, el dispositivo de regulación presenta además, una unidad de control conectada a la unidad de desacoplamiento, configurada para la activación de los submódulos mediante modulación por ancho de pulsos (PWM). Como procedimiento de control se puede utilizar cualquier procedimiento PWM o también el procedimiento conocido por la solicitud WO 2008/086760 A1. La unidad de control puede estar

diseñada como un sistema de gestión de módulos (MMS), en donde para cada uno de los tres módulos de fase está asignado un MMS.

De manera preferida, el convertidor comprende dispositivos de medición como transformadores de tensión y/o de corriente para la detección de las corrientes del módulo de fase y las tensiones de conexión. Los transformadores de corriente pueden estar dispuestos, por ejemplo, en uno o más ramales de fase. Además, también pueden estar proporcionados transformadores de tensión capacitivos para medir las tensiones de conexión.

Según otra forma de ejecución preferida, el dispositivo de regulación del convertidor comprende además una unidad de procesamiento de señales con al menos un formador de valor medio, al menos un formador de diferencia, al menos un controlador de tensión, al menos un formador de frecuencia, así como al menos con un sumador. En la unidad de procesamiento de señales, el formador de valor medio está configurado para generar un valor medio de las tensiones del acumulador de energía del módulo de fase asignado; en donde el formador de diferencia está conectado del lado de la entrada con una salida del formador de valor medio, y está configurado para generar una diferencia de control a partir del valor medio de las tensiones del acumulador de energía y de un valor nominal de tensión continua predeterminado; el controlador de tensión está conectado del lado de la entrada con una salida del formador de diferencia y está configurado para generar un valor de corriente nominal real a partir de la diferencia de control; el formador de frecuencia está conectado del lado de la entrada con una salida del controlador de tensión y está configurado para generar una corriente nominal activa sinusoidal a partir del valor de corriente nominal activa; y el sumador está conectado del lado de la entrada con una salida del formador de frecuencia y está configurado para generar la corriente nominal para el módulo de fase asignado, a partir de la corriente nominal real y de una corriente nominal reactiva predeterminada.

Por consiguiente, la corriente (alterna) nominal para cada módulo de fase, se conforma de dos fracciones: la corriente nominal activa y reactiva. Aquí, la toma de una potencia activa por el convertidor sirve para compensar una caída indeseada de tensión en el acumulador de energía de los submódulos. El regulador de tensión puede ser por ejemplo un apropiado regulador lineal.

De manera preferida, la unidad de procesamiento de datos es parte de una instalación de procesamiento de datos digital. Si los acumuladores de energía individuales de los submódulos están realizados diferentes, entonces, para regular la toma de energía, las tensiones de los acumuladores de energía se pueden comparar también con diferentes valores nominales de tensión continua asignados. También resulta concebible reemplazar la simple generación de valores medios en el formador de valores medios por un cálculo adaptado a los submódulos utilizados, por ejemplo una formación de valores medios ponderada.

A partir del valor nominal de tensión continua predeterminado constante o con lenta variabilidad en el tiempo, el formador de frecuencia genera una variable de corriente alterna, cuyo ángulo de fase es idéntico al ángulo de fase de la tensión en la red de tensión alterna. De manera apropiada, las salidas de las unidades de procesamiento de señales se encuentran conectadas respectivamente con la entrada de un regulador de corriente del módulo de fase asignado.

Otro objeto de la presente invención consiste en proponer un procedimiento de regulación para el convertidor descrito anteriormente, el cual posibilite un suministro de potencia reactiva regulado.

El objeto se resuelve mediante un procedimiento de regulación, en el cual conforme a la invención para cada módulo de fase se predetermina una corriente nominal, mediante una unidad de desacoplamiento, las diferencias de control, que se generan a partir de las corrientes nominales predeterminadas y las corrientes de módulo de fase medidas, en referencia a la dependencia mutua de las corrientes de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el primer par de inductores, se desacoplan aritméticamente, de modo que los reguladores de corriente, asignados a los módulos de fase y dispuestos aguas abajo de la unidad de desacoplamiento, derivan respectivamente variables aritméticas de control desacopladas a partir de las diferencias de control desacopladas, y mediante una unidad de acoplamiento dispuesta aguas abajo del regulador de corriente, se corrigen las variables aritméticas de control desacopladas, según el acoplamiento magnético del primer par de inductores, obteniendo tensiones de control corregidas; en donde los submódulos de los módulos de fase se activan mediante una unidad de control, de modo tal que las tensiones que caen en los módulos de fase se corresponden con las tensiones de control corregidas.

Mediante la regulación conforme a la invención recomendada se puede garantizar un funcionamiento regulado del convertidor conforme a la invención, resultando posible la compensación de potencia reactiva en la red de tensión alterna conectada.

Una forma preferida de ejecución del procedimiento de regulación se puede utilizar particularmente en un convertidor, en el cual está proporcionado un par de inductores acoplado magnéticamente, el cual está conformado de la inductancia de acoplamiento asignada al segundo ramal de fase, y de otra inductancia, y el cual conecta entre sí el primer y el segundo ramal de fase; en donde el segundo par de inductores está provisto de una primera y de

una segunda conexión lateral, así como de una conexión central; en donde las tres conexiones del segundo par de inductores están conectadas en combinación discrecional con el primer ramal de fase, el segundo ramal de fase, o con la fase de la red de tensión alterna asignada al segundo ramal de fase, y donde está proporcionado un tercer par de inductores acoplado magnéticamente, el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al tercer ramal de fase y de una inductancia adicional, y el cual conecta entre sí el segundo y el tercer ramal de fase; en donde el tercer par de inductores está provisto de una primera y de una segunda conexión lateral, así como de una conexión central; en donde las tres conexiones del tercer par de inductores están conectadas en combinación discrecional con el segundo ramal de fase, el tercer ramal de fase, o con la fase de la red de tensión alterna asignada al tercer ramal de fase; en donde mediante la unidad de desacoplamiento, las diferencias de control, en referencia a la dependencia mutua de las corrientes de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el primer, el segundo y el tercer par de inductores, se desacoplan aritméticamente, de modo que los reguladores de corriente, asignados a los módulos de fase y dispuestos aguas abajo de la unidad de desacoplamiento, derivan respectivamente variables aritméticas de control desacopladas a partir de las diferencias de control desacopladas, y las variables aritméticas de control desacopladas se corrigen mediante una unidad de acoplamiento dispuesta aguas abajo del regulador de corriente, según el acoplamiento magnético del primer, del segundo y del tercer par de inductores, obteniendo tensiones de control corregidas. Por consiguiente, aquí, las inductancias de acoplamiento en el segundo y el tercer ramal de fase están incluidas en el segundo y el tercer par de inductores acoplados magnéticamente. De esta manera se puede minimizar el peligro de corrientes de corto circuito en todos los ramales de fase del convertidor.

Preferentemente, a las tensiones de control corregidas se les aplica respectivamente una tensión de interferencia; en donde las tensiones de interferencia se determinan en función de las tensiones de conexión que caen entre los ramales de fase, y las tensiones de control corregidas, con las tensiones de interferencia aplicadas, se suministran a la unidad de control. Las tensiones de interferencia se determinan mediante correspondientes dispositivos de medición. Las mismas se corresponden con aquellas tensiones mediante las cuales se impulsan las corrientes de la red de tensión alterna a los ramales de fase individuales del convertidor. Por ello, según la definición aquí utilizada, las tensiones de interferencia tienen signos opuestos a las tensiones en los módulos de fase del convertidor.

De manera preferida, las tensiones de control se convierten, mediante modulación por ancho de pulsos (PWM), en señales de control para la activación de los submódulos asignados.

Según otra forma preferida de ejecución del procedimiento de regulación, las corrientes nominales se componen respectivamente de una corriente nominal activa y de una corriente nominal reactiva; en donde las corrientes nominales activas se determinan en función de un valor medio de las tensiones que caen en los submódulos del módulo de fase asignado, y de un valor nominal de tensión continua predeterminado.

A continuación, la invención se describe en detalle en relación a los ejemplos de ejecución del convertidor conforme a la invención, representados en las figuras 1-6.

La figura 1 muestra un primer ejemplo de ejecución de un convertidor conforme a la presente invención, en una representación esquemática.

La figura 2 muestra un ejemplo de ejecución de un submódulo del convertidor conforme a la invención, en una representación esquemática.

La figura 3 muestra un ejemplo de ejecución de un par de inductores acoplados magnéticamente, en una representación esquemática.

La figura 4 muestra un ejemplo de ejecución de un dispositivo de regulación del convertidor conforme a la invención.

La figura 5 muestra un segundo ejemplo de ejecución de un convertidor conforme a la invención, en una representación esquemática.

La figura 6 muestra un tercer ejemplo de ejecución de un convertidor conforme a la invención, en una representación esquemática.

En particular, en la figura 1 está representado un ejemplo de ejecución de un convertidor 10 conforme a la invención. El convertidor 10 presenta un primer ramal de fase 1, un segundo ramal de fase 2, así como un tercer ramal de fase 3. El primer ramal de fase 1 presenta un punto de conexión 4 para la conexión a una red de tensión alterna. La red de tensión alterna no está representada gráficamente en la figura 1. En correspondencia con lo anterior, los ramales de fase 2 y 3 presentan respectivamente los puntos de conexión 5 y 6, los cuales conectan los ramales de fase 2, 3 con las fases de la red de tensión alterna asignadas respectivamente a los mismos.

El primer ramal de fase 1 comprende un módulo de fase 7. El módulo de fase 7 presenta un circuito en serie de submódulos 8. En general, el módulo de fase 7 comprende un número discrecional de módulos de fase 8; en donde en la figura 1, sólo están representados gráficamente cuatro submódulos 8. El número m de los submódulos 8 depende de las tensiones que se deben generar en el submódulo 7. Los ramales de fase 2, 3 también presentan módulos de fase 9, o bien 11. Los módulos de fase 9, 11 también comprenden respectivamente un circuito en serie de submódulos 8. En el ejemplo de ejecución del convertidor 10, representado en la figura 1, los módulos de fase 7, 9, 11 comprenden la misma cantidad de submódulos 8. Resulta sin embargo concebible que el número de los submódulos 8 en los módulos de fase de los ramales de fase 1, 2, 3 individuales sean diferentes. En el ejemplo de ejecución del convertidor 10, representado, los submódulos 8 están contruidos iguales. También en este caso es concebible que los submódulos 8 estén diseñados diferentes.

Las corrientes del módulo de fase se miden mediante dispositivos de medición 12, 13, 14.

Las tensiones entre los puntos de conexión 4, 5, 6 indicados en la figura 1 con UAB, UBC y UCA, se miden mediante correspondientes dispositivos de medición, por ejemplo transductores de tensión 15, 16 y 17.

El primer ramal de fase 1 y el tercer ramal de fase 3 están conectados entre sí mediante un primer par de inductores 22 acoplado magnéticamente, que comprende conexiones 23 y 24 laterales, así como una conexión 25 central. La conexión lateral 23 está conectada con el tercer ramal de fase 3, la segunda conexión lateral 24 con el primer ramal de fase 1. La conexión 25 central del par de inductores 22 está conectada con el punto de conexión 4 y a través del mismo con la fase de la red de tensión alterna asignada al primer ramal de fase 1.

El primer ramal de fase 1 y el segundo ramal de fase 2 están conectados entre sí a través de un segundo par de inductores 18 acoplado magnéticamente. El segundo par de inductores 18 dispone de dos conexiones laterales 19 o 20; en donde la conexión 19 lateral está conectada con el primer ramal de fase 1, y la segunda conexión 20 lateral está conectada con el segundo ramal de fase 2. Además, el segundo par de inductores 18 presenta una conexión 21 central, la cual se puede conectar con la fase de la red de tensión alterna asignada al segundo ramal de fase 2.

Por lo demás, el segundo y el tercer ramal de fase 2, 3 están conectados mediante un tercer par de inductores 26. El tercer par de inductores 26 acoplado magnéticamente dispone de conexiones laterales 27 y 28, así como de una conexión central 29. La conexión 27 está aquí conectada con el segundo ramal de fase 2, la conexión 28 con el tercer ramal de fase 3, y la conexión 29 con el punto de conexión 6 para conectar a la fase de la red de tensión alterna asignada al tercer ramal de fase.

El convertidor 10 presenta, además, un dispositivo de regulación 31, aquí representado sólo esquemáticamente, el cual está configurado para regular las corrientes de módulo de fase mediante las salidas de control 311, las salidas de control 312 y las salidas de control 313.

En la figura 2 se expone en mayor detalle el diseño constructivo de los submódulos 8. El submódulo 8 está diseñado bipolar, en donde en la figura 2, los dos polos del submódulo 8 están indicados con X1 y X2. El submódulo 8 de la figura 2 está realizado como un así denominado circuito de puente completo, o circuito en puente H. El mismo presenta dos circuitos en serie de unidades de conmutación de semiconductores de potencia 81, las cuales están compuestas respectivamente de un circuito en serie de un interruptor semiconductor de potencia que puede ser desconectado, así como un diodo antiparalelo al mismo. Además, el submódulo 8 comprende un acumulador de energía 82, el cual en el ejemplo de ejecución representado en la figura 2, está realizado como un condensador de almacenamiento. Allí, el condensador de almacenamiento está conectado en un circuito en paralelo a los dos circuitos en serie con las unidades de conmutación de semiconductores de potencia 81. Mediante adecuada activación de los submódulos a través de las salidas de control 311, 312, 313 del dispositivo de regulación 31, que no está representado en la figura 2, los submódulos 8 se pueden activar respectivamente de tal modo que en ambos bornes X1 o X2 de los submódulos caiga una tensión de submódulo que sea igual a la tensión que cae en el condensador 82, a la tensión en el condensador 82 pero con inversa polaridad, o a una tensión con el valor cero. De esta manera, en un curso temporal se puede generar un desarrollo de tensión en cada uno de los módulos de fase 7, 8, 9 que se corresponda con una tensión alterna escalonada.

La figura 3 muestra una representación esquemática de un par de inductores 18,22,26 acoplados magnéticamente del convertidor de la figura 1. En particular, en la figura 3 está representado el primer par de inductores 22. El segundo y el tercer par de inductores 18 así como 26 están contruido igual que el par de inductores 22, en el ejemplo de ejecución del convertidor 10 aquí representado. Sin embargo, es concebible diseñar de manera diferente los pares de inductores 22, 18, 26. El primer par de inductores 22 acoplados magnéticamente presenta una primera conexión 23 lateral, una segunda conexión 24 lateral, así como una conexión 22 central. Además, el par de inductores 22 comprende un primer inductor 221, así como un segundo inductor 222. Ambos inductores 221 y 222 están dispuestos en una cercanía espacial uno de otro. De esta manera, entre ambos inductores 221, 222 se genera un acoplamiento magnético, el cual no se debe descuidar en la regulación del convertidor 10 de la figura 1, en contraposición a inductores no acoplados. Los dos inductores 221, 222 están bobinados alrededor de un núcleo 223

común, el cual está fabricado de un material ferromagnético. No se debe dejar de indicar, que en el marco de esta invención también es posible un acoplamiento de aire de ambos inductores 221, 223.

La figura 4 muestra en detalle el diseño constructivo de un ejemplo de ejecución de una unidad de procesamiento de señales 32 del dispositivo de regulación 31 del convertidor 10 del ejemplo de ejecución de la figura 1. Para una mejor comprensión del diseño constructivo, los componentes individuales de la unidad de procesamiento de señales 32 se han dividido en forma de bloques 100 a 1000. Los pasos de regulación que se desarrollan en los bloques 100 a 500 tienen lugar paralelamente para los tres módulos de fase 7, 8, 9 del primer, del segundo o bien del tercer ramal de fase 1, 2, 3. A fin de evitar repeticiones, a continuación sólo se describen en detalle los pasos de regulación para el módulo de fase 7 del primer ramal de fase 1. En un formador de valor medio 100 se suman las tensiones UDC1 a UDCN del acumulador de energía 16 de los submódulos 8 del módulo de fase 7 y mediante una división por el número N de los submódulos en el módulo de fase se genera un valor medio de dichas tensiones. En un formador de diferencia 200, la diferencia entre el valor medio de las tensiones determinadas en el bloque 100 se comparan con un valor nominal de tensión continua UDCREF y se envían a un regulador de tensión 201, el cual a la salida del formador de diferencia 200 suministra un valor de corriente nominal activa. En un formador de frecuencia 300, se convierte el valor de corriente nominal activa determinado, generando la corriente nominal activa a partir del valor de corriente nominal activa. La corriente nominal activa es una variable de corriente alterna cuya fase se corresponde con la fase de la tensión de red en la red de tensión alterna. Mediante un sumador 400, a la corriente nominal activa se le adiciona una corriente nominal reactiva irefAC predeterminada para el módulo de fase 7. Aquí debe observarse que las corrientes nominales reactivas predeterminadas para los otros dos módulos de fase 8, 9, indicadas en la figura 4 con irefBC o irefCA, se diferencian en general en su valor y en su desarrollo temporal de irefAB. En una unidad 500 se comparan la corriente nominal, calculada a partir de la corriente nominal activa y de la corriente nominal reactiva, con una corriente de módulo de fase iAB, medida por el medidor de corriente 11, formando una diferencia de control eAB. Para los dos módulos de fase 8, 9 se genera correspondientemente la diferencia de control eBC y eCA.

Las diferencias de control eAB, eBC y eCA se suministran a una unidad de regulación 600. Mediante la unidad de desacoplamiento se desacoplan aritméticamente las diferencias de control; en donde el desacoplamiento se considera en referencia a la dependencia mutua de las corrientes de módulo de fase en base al acoplamiento magnético en los pares de inductores. El desacoplamiento se puede describir matemáticamente según un ejemplo de ejecución de la siguiente manera: Si se indica con $x=(iconvAB, iconvBC, iconvCA)$ un vector de las corrientes de módulo de fase y con $u=(uAB-uconvAB, uBC-uconvBC, uCA-uconvCA)$ un vector de las diferencias entre las tensiones de conexión y las tensiones que caen en los módulos de fase, entonces, la derivación temporal dx/dt de las corrientes de módulo de fase se puede describir con la ecuación:

$$dx/dt = M1*x + M2*u$$

Las matrices 3x3 M1 y M2 en la ecuación de arriba consideran la mutua dependencia de las corrientes de módulo de fase, a causa del acoplamiento magnético en los pares de inductores. Mediante la transformación T, la matriz M1 puede transferirse diagonalmente, de modo que las dependencias mutuas de las corrientes de módulo de fase se pueden resolver aritméticamente, lo que aquí se denomina como desacoplamiento. A causa de la linealidad del sistema matemático de ecuaciones, la transformación T también se puede aplicar a las diferencias de control eAB, eBC, eCA. En este caso, mediante el desacoplamiento resultan las diferencias de control desacopladas e'AB, e'BC, e'CA. Las diferencias de control desacopladas e'AB, e'BC, e'CA se suministran al regulador de corriente 700 dispuesto aguas abajo de la unidad de regulación 600. Los reguladores de corriente 700 determinan así las variables aritméticas de control desacopladas u'AB, u'BC, u'CA. Una unidad de acoplamiento 800 dispuesta aguas abajo del regulador de corriente 700, calcula a continuación tensiones de control UstellAB, UstellBC, UstellCA corregidas a partir de las variables de control desacopladas; en donde mediante la corrección se considera nuevamente el acoplamiento magnético en el par de inductores.

El desacoplamiento se puede realizar por ejemplo de la siguiente manera:

$$e'AB = (-eAB + 2 \cdot eBC - eCA) / 3,$$

$$e'BC = (-eAB - eBC + 2 \cdot eCA) / 3,$$

$$e'CA = (eAB + eBC + eCA) / 3.$$

Para el acoplamiento resulta entonces válido:

$$ustellAB = (M-L) * u' AB + (M-L) * u' BC + (L+2*M) * u' CA,$$

$$ustellBC = (L-M) * u' AB + (L+2*M) * u' CA,$$

$$ustellCA = (L-M) * u' BC + (L+2*M) * u' CA,$$

en donde M indica la interacción magnética entre los inductores de un par de inductores, y L el valor de inductancia de los inductores del par de inductores. En este caso, M y L son iguales para todos los pares de inductores, porque en este ejemplo de ejecución todos los pares de inductores están realizados iguales, lo cual sin embargo no es obligatorio en todos los casos.

Según el ejemplo de ejecución mostrado en las figuras 1 a 4, las tensiones de control corregidas ustellAB, ustellBC, ustellCA se aplican en las unidades 900 con tensiones de interferencia medidas, las cuales en este ejemplo de ejecución se corresponden con las tensiones de conexión corregidas uAB, uBC y uCA. Mediante esta segunda corrección se obtienen las tensiones de módulo de fase uconvAB, uconvBC, uconvCA que se deben ajustar. Las mismas se envían a la unidad de control 1000; en donde la unidad de control 1000 comprende el así denominado sistema de gestión de módulos (MM). Mediante el sistema MMS, las tensiones de módulo de fase que se deben ajustar se convierten en señales de control para los submódulos 8. Las señales de control se dirigen a los submódulos mediante las salidas de control 311, 312, 313.

En la figura 5 está representado un segundo ejemplo de ejecución de un convertidor 101 conforme a la invención. En las figuras 1 y 5, los componentes iguales o similares están provistos de los mismos símbolos de referencia. A fin de evitar repeticiones innecesarias, en la descripción de la figura 5 sólo se hará referencia a las diferencias entre las formas de ejecución de las figuras 1 y 5. También los submódulos 8 del convertidor 20 están contruidos iguales y se corresponden con los submódulos 8 de la figura 2. En correspondencia, esto vale también para un tercer ejemplo de ejecución de un convertidor 102 conforme a la invención, representado en la figura 6.

Las figuras 5 y 6 ilustran particularmente otras dos posibilidades de disposición de los pares de inductores 18, 22 y 26.

En la figura 5, la conexión 24 lateral del primer par de inductores 22 está conectada con el punto de conexión 4. La conexión 25 central está conectada con el tercer ramal de fase 3. La conexión 23 lateral está conectada con el primer ramal de fase 1. La conexión 20 lateral del segundo par de inductores 18 está conectada con el punto de conexión 5. La conexión 21 central está conectada con el primer ramal de fase 1. La conexión 19 lateral está conectada con el segundo ramal de fase 2. La conexión 28 lateral del tercer par de inductores 26 está conectada con el punto de conexión 6. La conexión 29 central está conectada con el segundo ramal de fase 2. La conexión 27 lateral está conectada con el tercer ramal de fase 3.

En la figura 6, la conexión 23 lateral del primer par de inductores 22 está conectada con el punto de conexión 4. La conexión 25 central está conectada con el primer ramal de fase 1. La conexión 24 lateral está conectada con el tercer ramal de fase 3. La conexión 19 lateral del segundo par de inductores 18 está conectada con el punto de conexión 5. La conexión 21 central está conectada con el segundo ramal de fase 2. La conexión 20 lateral está conectada con el primer ramal de fase 1. La conexión 27 lateral del tercer par de inductores 26 está conectada con el punto de conexión 6. La conexión 29 central está conectada con el tercer ramal de fase 3. La conexión 26 lateral está conectada con el segundo ramal de fase 2.

La regulación del convertidor 101, 102 de las figuras 5 y 6 se realiza correspondientemente por medio del dispositivo de regulación 31 representado en la figura 4. El desacoplamiento y el acoplamiento descritos allí se diferencian sin embargo por la utilización de diferentes transformaciones M1, M2, T. Las transformaciones consideran en este caso los distintos acoplamientos en los pares de inductores.

Lista de símbolos de referencia

1,2,3 Ramal de fase

4,5,6 Punto de conexión

- 7,9,11 Módulo de fase
- 8 Submódulo
- 81 Unidad de conmutación de semiconductor de potencia
- 82 Condensador
- 5 10 Convertidor
- 12,13,14 Dispositivo de medición
- 15,16,17 Dispositivo de medición
- 18,22,26 Par de inductores
- 19,20,21 Conexión
- 10 23,24,25 Conexión
- 27,28,29 Conexión
- 221,222 Devanado
- 223 Núcleo de bobina
- 31 Dispositivo de regulación
- 15 311,312,313 Salidas de control
- 32 Unidad de procesamiento de señales
- 100 Formador de valor medio
- 200 Formador de diferencia
- 300 Formador de frecuencia
- 20 400 Sumador
- 500 Unidad
- 600 Unidad de desacoplamiento
- 700 Regulador de corriente
- 800 Unidad de acoplamiento
- 25 900 Unidad
- 1000 Unidad de control
- X1,X2 Conexión del submódulo
- UDC1...UDCN Tensión del acumulador de energía
- UDCREf Valor nominal de tensión continua
- 30 irefAB,irefBC,irefCA Corriente nominal reactiva

i_{AB}, i_{BC}, i_{CA} Corriente de módulo de fase

e_{AB}, e_{BC}, e_{CA} Diferencia de regulación

$e'_{AB}, e'_{BC}, e'_{CA}$ Diferencia de regulación desacoplada

$u'_{AB}, u'_{BC}, u'_{CA}$ Variable aritmética de control

5 $u_{stellAB}, u_{stellBC}, u_{stellCA}$ Tensión de control corregida

$u_{convAB}, u_{convBC}, u_{convCA}$ Tensión que se debe ajustar

MMS Sistema de gestión de módulos

REIVINDICACIONES

1. Convertidor (10, 101, 102) para el suministro de potencia reactiva, que comprende un primer, un segundo y un tercer ramal de fase (1, 2, 3), en donde los tres ramales de fase (1, 2, 3), se pueden conectar respectivamente con una fase asignada de una red de tensión alterna, y están conectados entre sí en una conexión en triángulo; en donde

cada uno de los ramales de fase presenta un módulo de fase (7, 9, 11) con un circuito en serie de submódulos (8) bipolares; en donde

cada submódulo (8) presenta un acumulador de energía (82), así como al menos un semiconductor de potencia (81), y se puede activar de tal modo que en los polos (X_1 , X_2) del submódulo cae al menos una tensión de submódulo positiva o al menos una negativa, o una tensión con el valor cero, y una tensión que cae en cada módulo de fase (7, 9, 11) corresponde a la suma de las tensiones de submódulo que caen en sus submódulos (8); en donde los submódulos (8) están diseñados como circuitos de puente completo; en donde el segundo y el tercer ramal de fase (2, 3) están conectados mediante inductancias de acoplamiento con las fases de la red de tensión alterna, asignadas a los mismos; y

el primer y el tercer ramal de fase (1, 3) están conectados eléctricamente entre sí mediante un primer par de inductores (22) acoplado magnéticamente, que comprende una primera y una segunda conexión (23, 24) lateral, así como una conexión (25) central; en donde

las tres conexiones (23, 24, 25) del primer par de inductores (22) están conectadas en una combinación discrecional con el primer ramal de fase (1), el tercer ramal de fase (3) y con la fase de la red de tensión alterna asignada al primer ramal de fase; en donde

además, está proporcionado un dispositivo de regulación (31) para la regulación de las corrientes de módulo de fase, que comprende

- el regulador de corriente (700) asignado a los módulos de fase;

- una unidad de desacoplamiento (600) dispuesto aguas arriba del regulador de corriente (700), para desacoplar aritméticamente diferencias de control durante la regulación de las corrientes de módulo de fase en referencia a la dependencia mutua de las corriente de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el primer par de inductores (22), de modo que, mediante el regulador de corriente (700), a partir de las diferencias de control desacopladas se pueden derivar variables aritméticas de control ($U'AB$, $U'BC$, $U'CA$) desacopladas;

- una unidad de acoplamiento (800) dispuesta aguas abajo del regulador de corriente (700), para la corrección de las variables aritméticas de control desacopladas, según el acoplamiento magnético del primer par de inductores, obteniendo tensiones de control ($U_{stellaB}$, $U_{stellaBC}$, $U_{stellaCA}$) corregidas; así como

- una unidad de control (1000) para la activación de los submódulos (8), de modo que las tensiones que caen en los módulos de fase se pueden ajustar para que se correspondan con las tensiones de control corregidas.

2. Convertidor (10, 101, 102) según la reivindicación 1, en donde está proporcionado un segundo par de inductores (18) acoplado magnéticamente, el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al segundo ramal de fase (2) y de otra inductancia; y el cual conecta entre sí el primer y el segundo ramal de fase (1,2); en donde el segundo par de inductores está provisto de una primera y de una segunda conexión (19, 20) lateral, así como de una conexión (21) central; en donde

las tres conexiones del segundo par de inductores (18) están conectadas en combinación discrecional con el primer ramal de fase (1), el segundo ramal de fase (2) o con la fase de la red de tensión alterna asignada al segundo ramal de fase (2); y

está proporcionado un tercer par de inductores (26) acoplado magnéticamente, el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al tercer ramal de fase (3) y de una inductancia adicional; y el cual conecta entre sí el segundo y el tercer ramal de fase (2, 3); en donde el tercer par de inductores está provisto de una primera y de una segunda conexión (27, 28) lateral, así como de una conexión (29) central; en donde

las tres conexiones (27, 28, 29) del tercer par de inductores (26) están conectadas en combinación discrecional con el segundo ramal de fase (2), el tercer ramal de fase (3) o con la fase de la red de tensión alterna asignada al tercer ramal de fase; en donde

5 la unidad de desacoplamiento (600) está configurada adicionalmente para desacoplar aritméticamente diferencias de control (eAB, eBC, eCA) en referencia a la dependencia mutua de la corriente de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el segundo y en el tercer par de inductores (18, 26); y

10 la unidad de acoplamiento (800) está configurada para corregir las variables aritméticas de control desacopladas obtenidas por el regulador de corriente de las diferencias de control (e'AB, e'BC, e'CA) desacopladas, conforme al acoplamiento magnético en el primer, segundo y tercer par de inductores (18, 22, 26) obteniendo las tensiones de control corregidas.

3. Convertidor (10, 101, 102) según la reivindicación 1 ó 2, en donde la tensión de submódulo se corresponde con la tensión del acumulador de energía.

4. Convertidor (10, 101, 102) según una de las reivindicaciones precedentes 1 a 3, en donde los acumuladores de energía (82) son condensadores de almacenamiento.

15 5. Convertidor (10, 101, 102) según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la unidad de control (1000) está configurada para la activación de los submódulos (8) mediante modulación por ancho de pulsos.

6. Convertidor (10, 101, 102) según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el convertidor (10, 101, 102) comprende además dispositivos de medición (12, 13, 14) para la detección de las corrientes del módulo de fase y de las tensiones de conexión (UAB, UBC, UCA) que caen entre los ramales de fase.

20 7. Convertidor (10, 101, 102) según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo de regulación (31) además comprende una unidad de procesamiento de señales (32) asignada a los módulos de fase con un formador de valor medio (100), un formador de diferencia (200), un controlador de tensión (201), un formador de frecuencia (300) así como con un sumador (400); en donde en la unidad de procesamiento de señales

25 el formador de valor medio está configurado para generar un valor medio de las tensiones del acumulador de energía del módulo de fase asignado;

el formador de diferencia está conectado del lado de la entrada con una salida del formador de valor medio, y está configurado para generar una diferencia de control a partir del valor medio de las tensiones del acumulador de energía y de un valor nominal de tensión continua predeterminado;

30 el controlador de tensión está conectado del lado de la entrada con una salida del formador de diferencia y está configurado para generar un valor de corriente nominal real a partir de la diferencia de control;

el formador de frecuencia está conectado del lado de la entrada con una salida del controlador de tensión y está configurado para generar una corriente nominal activa sinusoidal a partir del valor de corriente nominal activa; y

35 el sumador está conectado del lado de la entrada con una salida del formador de frecuencia y está configurado para generar la corriente nominal para el módulo de fase asignado, a partir de la corriente nominal real y de una corriente nominal reactiva predeterminada.

40 8. Procedimiento para la regulación de un convertidor (10, 101, 102) para el suministro de potencia reactiva, con un primer, un segundo y un tercer ramal de fase (1, 2, 3), en donde los tres ramales de fase se pueden conectar respectivamente con una fase asignada a ellos de una red de tensión alterna, y están conectados entre sí en una conexión en triángulo; en donde cada uno de los ramales de fase presenta un módulo de fase (7, 9, 11) con un circuito en serie de submódulos (8) bipolares; en donde

45 cada submódulo (8) presenta un acumulador de energía (82), así como al menos un semiconductor de potencia, y se puede activar de tal modo que en los polos (X_1 , X_2) del submódulo cae al menos una tensión de submódulo positiva o al menos una negativa, o una tensión con el valor cero, y una tensión que cae en cada módulo de fase corresponde a la suma de las tensiones de submódulo que caen en sus submódulos (8); en donde los submódulos (8) están diseñados como circuitos de puente completo; en donde

- el segundo y el tercer ramal de fase (2, 3) están conectados mediante inductancias de acoplamiento con las fases de la red de tensión alterna, asignadas a los mismos; y

- el primer y el tercer ramal de fase (1, 3) están conectados entre sí mediante un primer par de inductores (22) acoplado magnéticamente, que comprende una primera y una segunda conexión (23, 24) lateral, así como una conexión (25) central; en donde
- 5 las tres conexiones (23, 24, 25) del par de inductores (22) están conectadas en combinación discrecional con el primer ramal de fase, el tercer ramal de fase y con la fase de la red de tensión alterna asignada al primer ramal de fase; en la cual
- para cada módulo de fase (7, 9, 11) se predetermina una corriente nominal;
 - mediante una unidad de desacoplamiento (600), las diferencias de control (eAB, eBC, eCA), que se generan a partir de corrientes nominales predeterminadas y corrientes de módulo de fase medidas, en referencia a la dependencia mutua de las corriente de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el primer par de inductores (22), se desacoplan aritméticamente de modo que los reguladores de corriente (700), asignados a los módulos de fase y dispuestos aguas abajo de la unidad de desacoplamiento, derivan variables aritméticas de control (U'AB, U'BC, U'CA) desacopladas a partir de las diferencias de control desacopladas (eAB, eBC, eCA); y
- 10
- las variables aritméticas de control desacopladas se corrigen mediante una unidad de acoplamiento (800) dispuesta aguas abajo del regulador de corriente, según el acoplamiento magnético del primer par de inductores (22), obteniendo tensiones de control (UstellAB, UstellBC, ustellCA) corregidas; en donde
- 15
- los submódulos (8) de los módulos de fase (7, 9, 11) se activan mediante la unidad de control (1000) de modo que las tensiones que caen en los módulos de fase se corresponden con las tensiones de control corregidas.
- 20
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en donde está proporcionado un segundo par de inductores (18) acoplado magnéticamente, el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al segundo ramal de fase (2) y de otra inductancia; y el cual conecta entre sí el primer y el segundo ramal de fase (1,2); en donde el segundo par de inductores (18) está provisto de una primera y de una segunda conexión (19, 20) lateral, así como de una conexión (21) central; en donde
- 25 las tres conexiones del segundo par de inductores (18) están conectadas en combinación discrecional con el primer ramal de fase (1), el segundo ramal de fase (2) o con la fase de la red de tensión alterna asignada al segundo ramal de fase (2); y
- 30 está proporcionado un tercer par de inductores (26) acoplado magnéticamente, el cual está conformado a partir de la inductancia de acoplamiento asignada al tercer ramal de fase (3) y de una inductancia adicional; y el cual conecta entre sí el segundo y el tercer ramal de fase (2, 3); en donde el tercer par de inductores está provisto de una primera y de una segunda conexión (27, 28) lateral, así como de una conexión (29) central; en donde
- 35 las tres conexiones del tercer par de inductores (26) están conectadas en combinación discrecional con el segundo ramal de fase, el tercer ramal de fase o con la fase de la red de tensión alterna asignada al tercer ramal de fase; en donde
- mediante la unidad de desacoplamiento (600), las diferencias de control, en referencia a la dependencia mutua de las corrientes de módulo de fase a causa del acoplamiento magnético en el primer, el segundo y el tercer par de inductores, se desacoplan aritméticamente, de modo que los reguladores de corriente (700), asignados a los módulos de fase y dispuestos aguas abajo de la unidad de desacoplamiento (600), derivan respectivamente variables aritméticas de control (U'AB, U'BC, U'CA) desacopladas a partir de las diferencias de control desacopladas.
 - las variables aritméticas de control desacopladas se corrigen mediante una unidad de acoplamiento dispuesta aguas abajo del regulador de corriente, según el acoplamiento magnético del primer, del segundo y del tercer par de inductores (18, 22, 26), obteniendo tensiones de control corregidas.
- 40
- 45
10. Procedimiento según la reivindicación 8 ó 9, en donde a las tensiones de control (Ustell AB, UstellBC, UstellCA) corregidas se les aplica respectivamente una tensión de interferencia (UAB, UBC, UCA); en donde las tensiones de interferencia se determinan en función de las tensiones de conexión que caen entre los ramales de fase, y las tensiones de control (uconvAB, uconvBC, uconvCA) corregidas con las tensiones de interferencia aplicadas se suministran a la unidad de control.
- 50

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 10, en donde las tensiones de control se convierten, mediante modulación por ancho de pulsos, en señales de control para la activación de los submódulos (8) asignados.

- 5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 11, en donde las corrientes nominales están respectivamente compuestas de una corriente nominal activa y de una corriente nominal reactiva; en donde las corrientes nominales activas se determinan en función de un valor medio de las tensiones que caen en los submódulos del módulo de fase asignado, y de un valor nominal de tensión continua predeterminado.

FIG 1

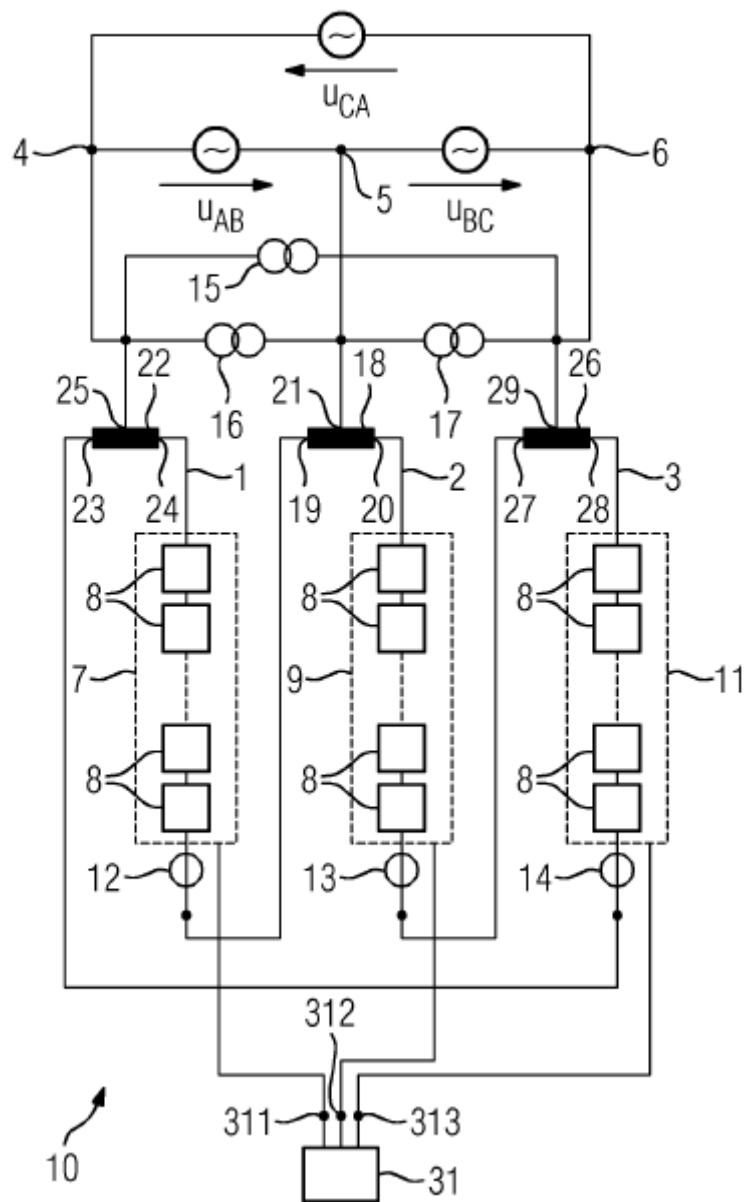


FIG 2

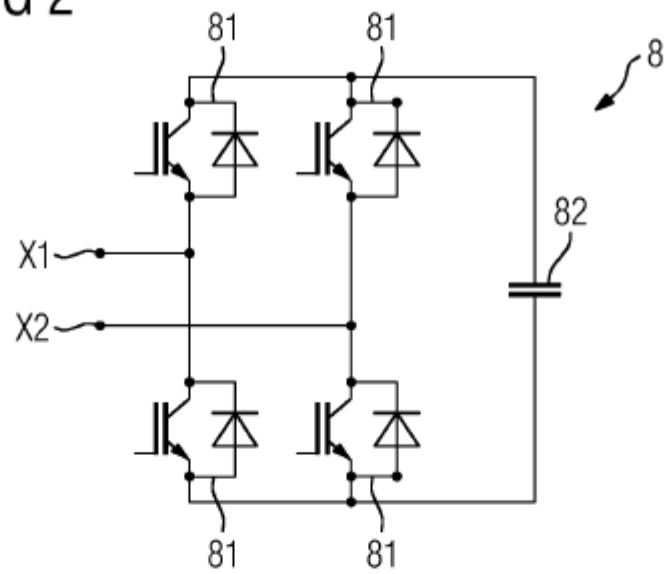
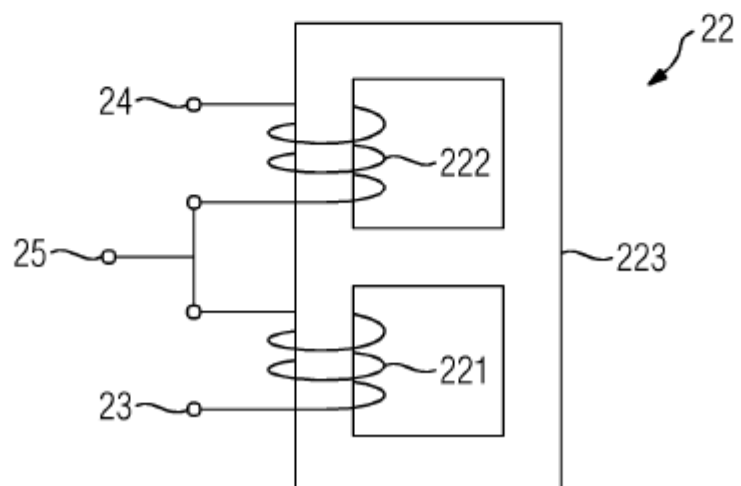


FIG 3



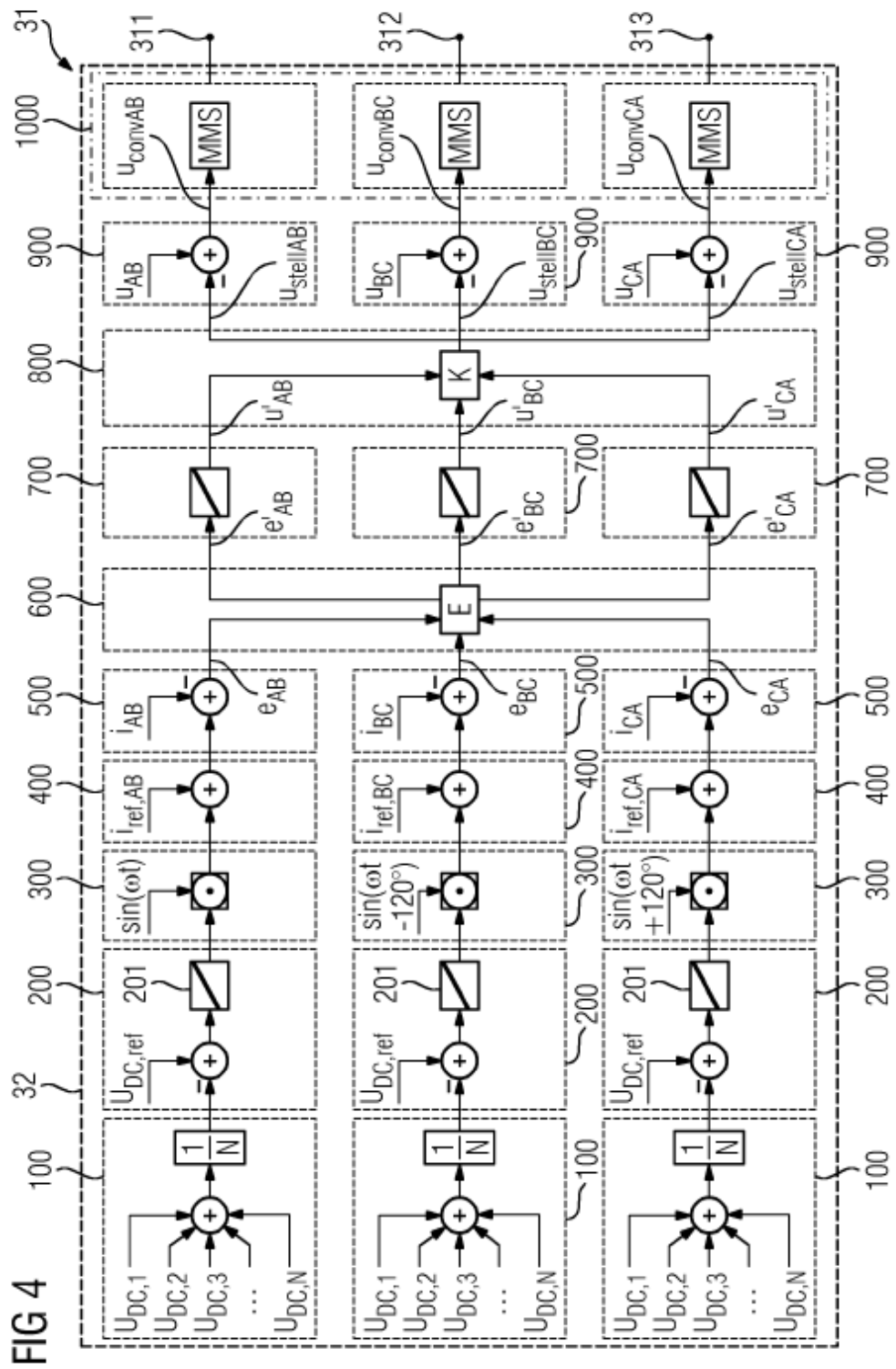


FIG 5

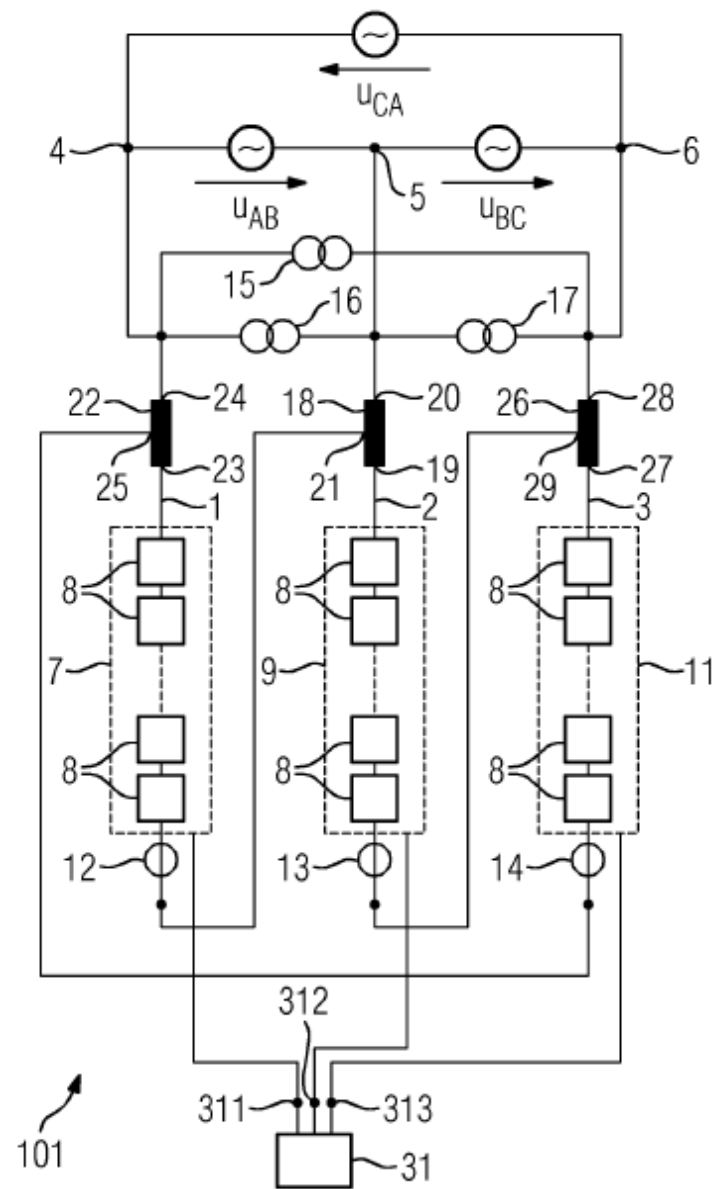


FIG 6

