

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 706**

51 Int. Cl.:

**H02M 1/00** (2006.01)

**H02M 7/483** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2006 PCT/DE2006/002247**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.06.2008 WO08067784**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2006 E 06828678 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2100364**

54 Título: **Controlador de un convertidor de corriente modular con acumuladores de energía eléctrica distribuidos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.02.2019**

73 Titular/es:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Strasse 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:  
**DOMMASCHK, MIKE;  
DORN, JÖRG;  
EULER, INGO;  
LANG, JÖRG;  
TU, QUOC-BUU y  
WÜRFINGER, KLAUS**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 701 706 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

Controlador de un convertidor de corriente modular con acumuladores de energía eléctrica distribuidos.

La presente invención hace referencia a un dispositivo para convertir una corriente eléctrica, conforme a la reivindicación 1; así como un procedimiento para convertir energía eléctrica mediante un convertidor, conforme a la reivindicación 8. Las formas de ejecución ventajosas están definidas en las reivindicaciones relacionadas.

Un dispositivo de esta clase y un procedimiento de esta clase ya se conocen, por ejemplo, por la contribución de A. Lesnicar y R. Marquardt "An Innovative Modular Multilevel Converter Topology Suitable for a Wide Power Range" ("Una innovadora topología de convertidor modular multinivel adecuada para un rango de potencia amplio"), presentada en Powertech 2003. Allí, se describe un convertidor de corriente proporcionado para una conexión en una red de tensión alterna. El convertidor de corriente presenta un módulo de fase para cada fase de la red de tensión alterna que debe ser conectada a dicho convertidor; donde cada módulo de fase dispone de una conexión de tensión alterna, así como de dos conexiones de tensión continua. Entre cada conexión de tensión continua y la conexión de tensión alterna se extienden unos ramales de módulo de fase, de modo que se proporciona un denominado circuito en puente de 6 pulsos. Los ramales de módulo se componen de una conexión en serie de submódulos, los cuales se componen respectivamente de dos semiconductores de potencia que pueden ser desconectados, a los cuales están conectados, de manera paralela, diodos libres respectivamente en sentido opuesto. Los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados y los diodos libres están conectados en serie, donde se proporciona un condensador paralelamente con respecto a la conexión en serie mencionada. Los mencionados componentes de los submódulos están conectados unos con otros, de modo que en la salida bipolar de cada submódulo bien la tensión del condensador o la tensión desciende a cero.

El control de los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados tiene lugar mediante la así denominada modulación por ancho de pulsos. Los medios de regulación para controlar los semiconductores de potencia presentan sensores de medición para detectar corrientes, obteniendo valores de corriente. Los valores de corriente se suministran a una unidad de control central, la cual presenta una interfaz de entrada y una interfaz de salida. Entre la interfaz de entrada y la interfaz de salida se proporciona un modulador, o sea, una rutina de software. Entre otras cosas, el modulador presenta una unidad de selección, así como un generador de ancho de pulso. El generador de ancho de pulso genera las señales de control para los submódulos individuales. Los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados, pasan, a través de las señales de control generadas por el generador del ancho de pulso, desde una posición de paso, en la cual un flujo de corriente resulta posible mediante los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados, a una posición de bloqueo, en la cual un flujo de corriente es interrumpido mediante los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados. En este caso, cada submódulo presenta un sensor de submódulo para detectar una tensión presente en el condensador.

Otras contribuciones sobre el procedimiento de control para una así denominada topología de convertidor de corriente multinivel, son conocidas por R. Marquardt, A. Lesnicar, J. Hildinger: "Modulares Stromrichterkonzept für Redkupplungsanwendung bei hohen Spannungen" ("Concepto de convertidor de corriente modular para la aplicación de acoplamiento de red en altas tensiones"), publicado en la conferencia especializada ETG en Bad Nauheim, Alemania, en 2002; por A. Lesnicar, R. Marquardt: "A new modular voltage source inverter topology" ("Nueva topología de convertidor de fuente de voltaje modular", EPE' 03 en Toulouse, Francia, en 2003 y por R. Marquardt, A. Lesnicar "New Concept for High Voltage - Modular Multilevel Converter" ("Un nuevo concepto para alta tensión - Convertidor multinivel multimodal"), PESCE 2004 Conferencia en Aquisgrán, Alemania.

En la solicitud de patente alemana 10 2005 045 090.3, aún no publicada, se revela un procedimiento para controlar un convertidor de corriente polifásico con acumuladores de energía eléctrica distribuidos. El dispositivo descrito presenta también una topología de convertidor multinivel con módulos de fase, los cuales disponen de una conexión de tensión alterna, dispuesta simétricamente en el centro de cada módulo de fase, y de dos conexiones de tensión continua. Cada módulo de fase está compuesto por dos ramales de módulo de fase, las cuales se extienden entre la conexión de tensión alterna y una de las conexiones de tensión continua. Cada ramal de módulo de fases comprende a su vez una conexión en serie compuesta por submódulos; donde cada submódulo está compuesto por semiconductores de potencia que pueden ser desconectados y de diodos libres conectados de forma antiparalela a los últimos. Además, cada submódulo dispone de un condensador unipolar. Para regular los semiconductores de potencia se utilizan medios de regulación, los cuales están diseñados también para ajustar corrientes de ramal, que circulan entre los módulos de fase. Mediante el control de las corrientes de ramal se pueden atenuar, por ejemplo, oscilaciones de corriente y se pueden evitar puntos de funcionamiento con frecuencias de salida más reducidas. Además de esto, se puede provocar una carga uniforme de todos los semiconductores que pueden ser desconectados, así como una simetrización de tensiones marcadamente asimétricas.

Por la publicación "Analysis and design of direct power control (DPC) for a three phase synchronous rectifier via output regulation subspaces" de J. M. Carrasco et al, publicado en las actas sobre electrónica de potencia (Transactions on Power Electronics) por el Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (Institute of Electrical and

Electronics Engineers), EEUU, Tomo 18, Nº 3, 1 de mayo de 2003, páginas 823-830, XP011096111, 2003, ISSN: 0885-8993 se conoce una regulación para un rectificador trifásico. En esta regulación se utiliza el concepto de "subespacios de regulación de salida" (ORS) ("output regulation subspaces"). La regulación contiene un bucle de control interno, el cual es responsable de la activación de las válvulas del rectificador; y un bucle de control externo, el cual presenta un filtro de baja frecuencia y un integrador.

El objeto de la presente invención consiste en poner a disposición un dispositivo de la clase mencionada en la introducción, cuya regulación puede ser adaptada de manera simple a un número discrecional de submódulos en cada ramal de módulo de fase.

La invención resuelve dicho objeto, a partir del dispositivo mencionado en la introducción porque los medios de regulación presentan una unidad de regulación de corriente y respectivamente una unidad de activación asociada a cada una de los ramales de módulo de fase; donde la unidad de regulación de corriente está dispuesta para la provisión de valores teóricos de tensión de los ramales a las unidades de activación, y las unidades de activación están conectadas entre los submódulos y la unidad de regulación de corriente y están dispuestas para producir señales de control para los submódulos mencionados;

en donde las unidades de activación obtienen, como valores reales de los submódulos, los valores de tensión del condensador de todos los submódulos del ramal de módulo de fase asociado a ellos; suman estos valores reales de los submódulo para obtener un valor real de energía eléctrica del ramal; y suministran el valor real de energía eléctrica del ramal a la unidad de regulación de corriente;

donde las unidades de activación obtienen, de la unidad de regulación de corriente, un valor teórico de tensión del ramal;

y en donde las unidades de activación generan señales de control para los submódulos asociados a ellas de modo que la tensión presente en la conexión en serie de estos submódulos se corresponda lo más posible con el respectivo valor teórico de tensión de ramal.

La invención resuelve dicho objeto, a partir del dispositivo mencionado en la introducción en la medida que una unidad de regulación de corriente es abastecida con valores reales y con valores teóricos; por la unidad de regulación de corriente se determinan, en función de los valores reales y de los valores teóricos, mediante un regulador, valores teóricos de tensión de ramal, los cuales están asociados respectivamente a un ramal de módulo de fase; los valores teóricos de tensión de ramal se suministran respectivamente a una unidad de activación, y cada unidad de activación genera, en función de los valores teóricos de tensión de ramal, señales de control para los submódulos asociados a ella, de modo que la tensión presente en la conexión en serie de estos submódulos se corresponda lo más posible con el respectivo valor teórico de tensión de rama; donde las unidades de activación obtienen, como valores reales de los submódulos, los valores de tensión del condensador de todos los submódulos del ramal de módulo de fase asociado a ellos; estos valores reales de los submódulos son sumados por la unidad de activación para obtener un valor real de energía eléctrica del ramal, y el valor real de energía eléctrica del ramal se suministra por la unidad de activación a la unidad de regulación de corriente.

El dispositivo conforme a la invención presenta medios de regulación, los cuales se componen de una unidad central de regulación de corriente. La mencionada unidad de regulación de corriente, está conectada con los sensores de medición, los cuales están proporcionados para detectar variables de medición eléctricas, como corriente o tensión; donde los valores de medición se suministran a la regulación como los así denominados valores reales. Además, a la unidad de regulación de corriente se le suministran valores teóricos, a los cuales los valores reales deben ser adaptados. Se trata por ejemplo de valores teóricos alrededor de una potencia activa teórica, una transformación por ejemplo de la tensión continua para alcanzar la potencia activa teórica, repercute en una transformación de la corriente alterna del convertidor del lado de la tensión alterna. Con otras palabras, los valores reales están en gran medida vinculados unos con otros. En este sentido, la unidad de regulación de corriente sirve en esencia para desvincular las variables de regulación.

En contraposición a los procedimientos conocidos en el estado del arte, conforme a la invención, las señales de control para los submódulos no son generadas por una unidad de regulación de corriente central. Por el contrario, para cada ramal de módulo de fase está proporcionada una unidad de activación independiente. La unidad de regulación de corriente genera para cada unidad de activación al menos un valor teórico de ramal. La unidad de activación determina y genera entonces, la señal de control para cada submódulo individual, en base a cada valor teórico de ramal. EL dispositivo conforme a la invención presenta por lo tanto medios de regulación que pueden ser adaptados a un número variable de submódulos. La unidad de regulación de corriente está ajustada exclusivamente para el número de los ramales de módulo de fase, que es independiente del número de submódulos en cada ramal de módulo de fase. Una adaptación del dispositivo conforme a la invención, o sea del convertidor conforme a la invención, a una tensión de red o a una tensión continua transformada con un aumento del número de submódulos como consecuencia, repercute entonces sólo en las unidades de activación.

## ES 2 701 706 T3

- De manera ventajosa, cada submódulo dispone de un sensor de submódulo, el cual está conectado con la unidad de activación asociada al submódulo, y provee uno de los valores reales de submódulo. El valor real del submódulo es suministrado a la unidad de activación conectada, la cual a continuación conforma un valor real total del submódulo a través de la sumatoria de los valores reales de submódulo que surgen de los submódulos que fueron activados por la unidad de activación, o con otras palabras, que fueron conectados activamente. Solamente submódulos de un ramal de módulo de fase conectados activamente suministrar un aporte para el correspondiente valor real total de submódulo del ramal de módulo de fase. En este caso, la unidad de activación genera ciertas señales de control para los submódulos individuales, de modo que el valor real total de submódulo se corresponde en lo posible exactamente con el valor teórico de ramal dispuesto por la unidad de regulación de corriente.
- El valor real del submódulo es convenientemente un valor de tensión del acumulador de energía eléctrica  $U_c$ , el cual se corresponde con una tensión presente en el acumulador de energía eléctrica del respectivo submódulo. En este caso, el valor teórico de ramal es un valor combinable de tensión de ramal, es decir, un valor teórico para la suma de tensión presente en los submódulos de un ramal de módulo de fase, activos o conectados.
- De manera ventajosa, cada unidad de activación está conectada con todos los sensores de submódulo del ramal de módulo de fase asociado a ello, y está dispuesta para la provisión de un valor real de energía eléctrica del ramal para la unidad de regulación de corriente; donde el valor real de energía eléctrica del ramal, es la suma de los valores reales de submódulo de todos los submódulos, o sea tanto de los submódulos activos conectados, como también de los submódulos inactivos desconectados de la respectiva ramal de módulo de fase. Además de esto, el valor real de energía eléctrica de ramal sirve en sí mismo para determinar el valor teórico de ramal y en especial el valor teórico de tensión de ramal.
- Conforme a un perfeccionamiento ventajoso, la unidad de regulación de corriente está dispuesta para proveer un valor teórico de tensión de ramal  $U_{p1ref}$ ,  $U_{p2ref}$ ,  $U_{p3ref}$ ,  $U_{n1ref}$ ,  $U_{n2ref}$ ,  $U_{n3ref}$  para cada unidad de activación.
- Los sensores de medición comprenden convenientemente sensores de corriente de ramal, los cuales están dispuestos para medir las corrientes de ramal de módulo de fase  $I_{ramal}$  que circulan en los ramales de módulo de fase. Conforme a este ventajoso perfeccionamiento, resulta posible una regulación de las corrientes de ramal de módulo de fase. Las corrientes de ramal de módulo de fase  $I_{ramal}$  comprenden corrientes de fase que circulan del lado de la tensión alterna del módulo de fase, o sea por ejemplo entre un transformador para la conexión de una red de tensión alterna en el dispositivo conforme a la invención, y la conexión de tensión alterna del módulo de fase. Además de esto, las corrientes de ramal de módulo de fase comprenden porciones de corriente continua y corrientes circulares. Si se conocen todas las corrientes de ramal de módulo de fase del dispositivo, entonces se pueden calcular las corrientes circulares. A causa de que las corrientes circulares no pueden ser observadas desde el exterior, su regulación posibilita una simetrización independiente de la energía eléctrica almacenada en los ramales de módulo de fase. Mediante la regulación de las corrientes de ramal de módulo de fase y con ello de las corrientes circulares, se pueden utilizar de manera efectiva todos los grados de libertad del dispositivo conforme a la invención. De esta manera, una amortiguación activa de las corrientes circulares reduce considerablemente el esfuerzo de energía eléctrica que debe ser impulsado en relación con elementos pasivos, como por ejemplo en relación con inductores de corriente de ramal.
- Por lo tanto, la unidad de regulación de corriente está dispuesta para regular las corrientes de ramal de módulo de fase  $I_{ramal}$ .
- Conforme a un perfeccionamiento preferido, los valores teóricos comprenden un valor teórico de corriente reactiva  $I_{qref}$ , un valor teórico de corriente activa  $I_{pref}$  y/o un valor teórico de corriente continua  $I_d$ . De esta manera, se posibilita una manipulación sencilla por parte del usuario, del dispositivo conforme a la invención. El usuario introduce en la regulación la potencia activa y la potencia reactiva a transmitir. A partir de ello, los valores teóricos de corriente reactiva se determinan con conocimiento de las tensiones teóricas existente.
- En lo referido al procedimiento conforme a la invención, resulta ventajoso que los valores reales comprenden valores reales de energía eléctrica de ramal, los cuales son transmitidos por las unidades de activación a la unidad de regulación de corriente; en donde cada valor real de energía eléctrica de ramal es nuevamente la sumatoria de los valores reales de submódulo de todos submódulos de un ramal de módulo de fase, independientemente de que estos estén o no conectados.
- De manera ventajosa, los valores teóricos de ramal se conforman por una combinación lineal de valores teóricos intermedios de tensión. Los valores teóricos intermedios de tensión están en gran parte desacoplados unos de otros y sirven para la formación de una regulación ilustrativa y clara.
- Según un perfeccionamiento correspondientemente conveniente, los valores teóricos intermedios de tensión comprenden un valor teórico de tensión continua  $U_{dc}$ ; donde el valor teórico de tensión continua  $U_{dc}$  se determina

en función de la diferencia entre una corriente continua de referencia predeterminada  $I_{\text{objetivo}}$  y un valor de medición de corriente continua  $I_d$  obtenido a través de medición.

5 Conforme a un perfeccionamiento con referencia a ello, la diferencia de tensión total se determina formando la diferencia entre un valor teórico de la tensión total  $u_{\text{cref}}$  predeterminado y un valor de medición de energía eléctrica total  $u_c$  determinado a través de la sumatoria de las tensiones presentes en todos los acumuladores de energía eléctrica del convertidor; y la diferencia de tensión total se suministra a un regulador obteniendo un valor de corriente de discrepancia de energía eléctrica total; donde el valor de corriente de discrepancia de energía eléctrica total se suma con un valor teórico de corriente continua  $I_{\text{ref}}$  obteniendo el valor de corriente continua de referencia  $I_{\text{objetivo}}$ . El regulador utilizado en este caso es por ejemplo un regulador proporcional simple. Sin embargo, en el marco de la invención también pueden ser utilizados otros reguladores. Conforme a este ventajoso  
10 perfeccionamiento, se puede asegurar que en la regulación, la energía eléctrica almacenada en los acumuladores de energía eléctrica no puede superar una cantidad predeterminada. De este modo, se preserva al dispositivo conforme a la invención, contra el daño que puede causar el almacenamiento de una cantidad de energía eléctrica demasiado grande. Para el experto resulta evidente que en el ajuste de la energía eléctrica total del dispositivo conforme a la invención, o sea del convertidor, en lugar de la sumatoria de los valores de medición de tensión medidos de todos los acumuladores de energía eléctrica del dispositivo, también se puede determinar la energía eléctrica almacenada en los acumuladores de energía eléctrica de los submódulos, obteniendo valores de medición de energía eléctrica. La medida para el valor de energía eléctrica de un acumulador de energía eléctrica, resulta por ejemplo a partir de la tensión presente en dicho acumulador de energía eléctrica, mediante una simple elevación al cuadrado de la mencionada tensión.

De manera ventajosa, los valores teóricos intermedios de tensión comprenden para cada unidad de activación, valores teóricos de tensión de fases de red  $U_{\text{red1}}$ ,  $U_{\text{red2}}$ ,  $U_{\text{red3}}$ . Los valores teóricos de tensión de fases de red  $U_{\text{red1}}$ ,  $U_{\text{red2}}$ ,  $U_{\text{red3}}$  repercuten así de tal modo en el dispositivo, que se ajusta una corriente de fase  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , objetivo que circula del lado de la tensión alterna en cada uno de los módulos de fase.

25 Según un perfeccionamiento correspondientemente conveniente, los valores teóricos de tensión de fase de red  $U_{\text{red1}}$ ,  $U_{\text{red2}}$ ,  $U_{\text{red3}}$  se determinan en función de valores teóricos de corriente mediante un regulador, a partir de valores de corriente de fase, los cuales se obtienen a través de la medición de las corrientes de fase  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  de los módulos de fase, del lado de la tensión alterna. Según este conveniente perfeccionamiento, las corrientes de fases se miden del lado de la tensión alterna del dispositivo conforme a la invención. Esto puede ser realizado en cercanía directa de la conexión de tensión alterna de los módulos de fase. Para ello, los correspondientes convertidores de corriente se ponen en interacción con un conductor de corriente alterna, donde la conexión del conductor de corriente alterna está conectada con la conexión de tensión alterna. Sin embargo, de manera diferente, también se puede medir la corriente de red  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$  y  $I_{n3}$  que circula en cada fase de la red de corriente alterna, la cual está conectada con las conexiones de tensión alterna a través de los conductores de corriente alterna y un transformador.

Según un perfeccionamiento correspondientemente conveniente, los valores teóricos de tensión de fase de red  $U_{\text{red1}}$ ,  $U_{\text{red2}}$ ,  $U_{\text{red3}}$  se determinan en función de valores teóricos mediante un regulador, en función de valores de medición de tensión de fases, los cuales se obtienen a través de la medición de las tensiones de fase  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  de los módulos de fase, del lado de la tensión alterna. La obtención de los valores teóricos de tensión de fase de red  $U_{\text{red1}}$ ,  $U_{\text{red2}}$ ,  $U_{\text{red3}}$ , se puede realizar entonces en base a la medición de las tensiones de red.

De manera ventajosa, los valores teóricos intermedios de tensión comprenden, para cada ramal de módulo de fase, un valor teórico intermedio de tensión de ramal  $U_{\text{ramalp1}}$ ,  $U_{\text{ramalp2}}$ ,  $U_{\text{ramalp3}}$ ,  $U_{\text{ramaln1}}$ ,  $U_{\text{ramaln2}}$  y  $U_{\text{ramaln3}}$ .

Según un perfeccionamiento correspondientemente conveniente, los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{\text{ramalp1}}$ ,..., $U_{\text{ramaln3}}$  se determinan, mediante un regulador, en función de valores de corriente de ramal  $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{p3}$ ,  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$  ampliados.

De manera preferida, cada valor de corriente de ramal ( $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{p3}$ ,  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$ ) ampliado se calcula formando la suma a partir de un valor de medición de corriente de ramal de módulo de fase  $I_{\text{ramalp1}}$ ,..., $I_{\text{ramaln3}}$ , el cual se obtiene a través de la detección de una corriente de ramal de módulo de fase que circula en el respectivo ramal de módulo de fase, a partir de valores teóricos de corriente circular  $I_{kr1}$ ,  $I_{kr2}$ ,  $I_{kr3}$  definidos y a partir de valores teóricos de corriente de simetrización  $I_{balp1}$ ,..., $I_{baln3}$  definidos; donde los valores teóricos de corriente de simetrización  $I_{balp1}$ ,..., $I_{baln3}$  se definen en función de los valores reales de energía eléctrica de ramal. Los valores teóricos predeterminados en este paso de regulación, es decir, los valores teóricos de corriente circular  $I_{kr1}$ ,  $I_{kr2}$ ,  $I_{kr2}$  para determinar las corrientes circulares, que son porciones de las corrientes de ramal, y los valores teóricos de corriente de simetrización  $I_{balp1}$ ,..., $I_{baln3}$  para determinar una corriente de simetrización; se suman con los valores de medición de ramal de módulo de fase  $I_{\text{ramal}}$  determinados mediante medición; en donde cuyo valor total se corresponde con el mencionado valor de corriente de ramal  $I_{p1}$ ,..., $I_{n3}$  ampliado. A continuación, el valor de corriente

de ramal ampliado es suministrado de manera conveniente a un regulador, el cual genera a continuación valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramal}$ .

De manera ventajosa, los valores teóricos intermedios de tensión de ramal comprenden una tensión teórica de asimetría  $U_{asim}$ .

- 5 Según un perfeccionamiento correspondientemente conveniente, la tensión teórica de asimetría  $U_{asim}$  se define a través de la medición de la tensión entre una conexión de corriente continua positiva y tierra, obteniendo un valor de tensión continua positivo  $U_{dp}$ , y a través de la medición de la tensión entre una conexión de corriente continua negativa y tierra, obteniendo un valor de tensión continua negativo; a través de la formación de la diferencia de los aportes de los valores de tensión continua positivos y de los negativos, obteniendo una diferencia de tensión continua  $\Delta u_d$ ; y a través de la aplicación de la diferencia de tensión continua  $\Delta u_d$  en la entrada de un regulador, obteniendo tensión teórica de asimetría a la salida del regulador.

- 15 De manera conveniente, los valores teóricos intermedios de tensión de ramal presentan valores teóricos de tensión de balance  $U_{balp1}$ ,  $U_{balp2}$ ,  $U_{balp3}$ ,  $U_{baln1}$ ,  $U_{baln2}$ ,  $U_{baln3}$ ; en donde se detectan los valores de tensión del acumulador de energía eléctrica  $U_c$ , los cuales se corresponden con las tensiones presentes en el acumulador de energía eléctrica; los valores de tensión del acumulador de energía eléctrica  $U_c$  se suman a un ramal de módulo de fase  $6p1$ ,  $6p2$ ,  $6p3$ ,  $6n1$ ,  $6n2$ ,  $6n3$  obteniendo valores de energía eléctrica de ramal  $U_{c\Sigma p1}$ ,  $U_{c\Sigma p2}$ ,  $U_{c\Sigma p3}$ ,  $U_{c\Sigma n1}$ ,  $U_{c\Sigma n2}$ ,  $U_{c\Sigma n3}$ ; los valores de energía eléctrica de ramal  $U_{c\Sigma p1}$ ,  $U_{c\Sigma p2}$ ,  $U_{c\Sigma p3}$ ,  $U_{c\Sigma n1}$ ,  $U_{c\Sigma n2}$ ,  $U_{c\Sigma n3}$  se comparan unos con otros y un valor derivado de la comparación se transmite al regulador; y a la salida del regulador se detectan las tensiones de compensación de balance  $U_{balp1}$ ,  $U_{balp2}$ ,  $U_{balp3}$ ,  $U_{baln1}$ ,  $U_{baln2}$ ,  $U_{baln3}$ . En la conformación de los valores de energía eléctrica de ramal se consideran todos los submódulos de un ramal de submódulo, independientemente de que estos estén o no conectados. Los valores de energía eléctrica de ramal establecen una medida de energía eléctrica, la cual está almacenada en un ramal de módulo de fase. El experto reconoce que en lugar de sumar las tensiones presentes en los acumuladores de energía eléctrica, en este caso también es posible sumar los cuadrados de estas tensiones y de esta manera formar el valor real de energía eléctrica de ramal. Además, cabe señalar que también es posible realizar una simetrización del dispositivo conforme a la invención con los valores teóricos de corriente de corriente de simetrización  $I_{bal}$  descritos con anterioridad.

- 25 De manera ventajosa, para determinar los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$ , ...,  $U_{ramaln3}$ , los valores de corriente de ramal  $I_{p1}$ , ...,  $I_{n3}$  ampliados se descomponen como magnitudes de entrada del regulador en una porción de la corriente de red y una porción de la corriente circular. Esta descomposición posibilita una estructura clara de los pasos de regulación que se ejecutan por la unidad de regulación de corriente.

De manera ventajosa, cada valor de corriente de ramal ampliado  $I_{p1}$ , ...,  $I_{n3}$  se regula en independencia de los valores de corriente de ramal restantes  $I_{p1}$ , ...,  $I_{n3}$ . Esto significa que por ejemplo cada valor de corriente de ramal ampliado se suministra respectivamente en conjunto con valores teóricos apropiados, a un único regulador. En la salida del regulador se pueden detectar los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$ , ...,  $U_{ramaln3}$ .

- 35 Conforme a otro diseño ventajoso de la invención, a través de la medición de corrientes de fase del lado de la tensión alterna, se obtienen valores de corriente de fase  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , y a través de la medición de tensiones de fase del lado de la tensión alterna, de los ramales de módulo de fase, valores de tensión de fase  $U_1$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ; a partir de los valores de corriente de fase  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  y de los valores de tensión de fase  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ , en función de valores teóricos mediante un regulador, se determinan valores de corriente auxiliar  $I_{Hal}$ ,  $I_{Hbe}$ ; los valores de corriente auxiliar  $I_{Hal}$ ,  $I_{Hbe}$  se suman a, o bien se sustraen de los valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}$ , ...,  $I_{n3}$ , obteniendo sumas auxiliares o diferencias auxiliares; en donde las sumas auxiliares y/o diferencias auxiliares se colocan en la entrada de un regulador; y donde en la salida del mencionado regulador se detectan los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$ , ...,  $U_{ramaln3}$ . En este caso, el regulador es por ejemplo un regulador proporcional.

- 45 Otros acondicionamientos y ventajas convenientes de la invención son objeto de la descripción a continuación de ejemplos de ejecución de la invención, en relación con las figuras de los dibujos, en donde los mismos símbolos de referencia indican componentes de igual función, y donde:

la figura 1 muestra un ejemplo de ejecución de un dispositivo conforme a la invención, en una representación esquemática;

- 50 la figura 2 muestra una representación de una imagen de sustitución de un submódulo de un dispositivo según la figura 1;

la figura 3 muestra la estructura de los medios de regulación de un dispositivo según la figura 1;

la figura 4 muestra en una representación esquemática, una combinación lineal de valores teóricos intermedios de tensión de ramal para la detección de valores teóricos de tensión de ramal para las unidades de activación;

la figura 5 muestra una representación esquemática de la detección de valores teóricos de tensión de fases de red Ured;

la figura 6 muestra una representación esquemática para ilustrar los pasos del procedimiento de detección de valores teóricos intermedios de tensión de ramal Uramal a partir de valores de corriente del ramal ampliados;

5 la figura 7 muestra una representación esquemática para la determinación de valores de corriente de ramal Ip ampliados, según la figura 6;

la figura 8 muestra una representación esquemática de una posibilidad de generar valores teóricos de corriente circular;

Figura 9 muestra una representación esquemática para determinar un valor teórico de tensión continua Udc;

10 la figura 10 muestra una vista de conjunto para ilustrar la determinación de la tensión de simetrización Uasim;

la figura 11 muestra otra posibilidad de generar valores teóricos intermedios de tensión de ramal Uramal;

la figura 12 muestra otra posibilidad para detectar valores teóricos intermedios de tensión de ramal Uramal;

la figura 13 muestra otra posibilidad para detectar valores teóricos intermedios de tensión de ramal Uramal;

15 La figura 1 muestra un ejemplo de ejecución del dispositivo 1 conforme a la invención, el cual se compone de tres módulos de fase 2a, 2b y 2c. Cada módulo de fase 2a, 2b y 2c está conectado a una línea de tensión continua positiva p, así como a una línea de tensión continua negativa n, de manera que cada módulo de fase 2a, 2b, 2c presenta dos conexiones de tensión continua. Además, para cada módulo de fase 2a, 2b y 2c se proporciona respectivamente una conexión de tensión alterna 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub> y 3<sub>3</sub>. Las conexiones de tensión alterna 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub> y 3<sub>3</sub> están conectadas, mediante un transformador 4, a una red de tensión alterna trifásica 5. En las fases de la red de tensión alterna 5, las tensiones de fase U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> y U<sub>3</sub> descienden, donde circulan corrientes de la red In<sub>1</sub>, In<sub>2</sub> y In<sub>3</sub>. La corriente de fase del lado de la tensión alterna de cada módulo de fase se indica con I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> y I<sub>3</sub>. La corriente de tensión continua es I<sub>a</sub>. Entre cada una de las conexiones de tensión alterna 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub> y 3<sub>3</sub> y la línea de tensión continua positiva p se extienden ramales del módulo de fase 6p<sub>1</sub>, 6p<sub>2</sub> y 6p<sub>3</sub>. Entre cada conexión de tensión alterna 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub> ó 3<sub>3</sub> y la línea de tensión continua negativa n se extienden ramales del módulo de fase 6p<sub>1</sub>, 6p<sub>2</sub> y 6p<sub>3</sub>. Cada ramal del módulo de fase 6p<sub>1</sub>, 6p<sub>2</sub>, 6p<sub>3</sub>, 6n<sub>1</sub>, 6n<sub>2</sub> y 6n<sub>3</sub> se compone de un circuito en serie formado por submódulos, no representados en detalle en la figura 1, y de una inductancia, la cual se indica en la figura 1 con L<sub>Kr</sub>.

20 En la figura 2 se representa con más precisión el circuito en serie de los submódulos 7 y en especial la estructura de los submódulos, a través de un diagrama de conexiones alternativo, donde en la figura 2 sólo fue seleccionado el ramal del módulo de fase 6p<sub>1</sub>. Sin embargo, el resto de los ramales del módulo de fase está estructurado de forma idéntica. Se puede observar que cada submódulo 7 presenta dos semiconductores de potencia T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> conectados en serie, los cuales pueden ser desconectados. Los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados son por ejemplo los así denominados IGBTs, GTOs, IGCTs, o similares. Los mismos son conocidos por el experto, de modo que no es necesaria en este punto una explicación detallada. Con cada semiconductor de potencia que puede ser desconectado T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> se encuentra conectado de forma antiparalela un diodo libre D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>. Paralelamente con respecto al circuito en serie de los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>; o bien de los diodos libres D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub>, se encuentra conectado un condensador 8 como acumulador de energía eléctrica. Cada condensador 8 está cargado de manera unipolar. En los bornes de conexión bipolares X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub> de cada submódulo 7 pueden generarse, ahora, dos estados de tensión. Si desde una unidad de activación 9 se genera por ejemplo una señal de activación, con la cual el semiconductor de potencia que puede ser desconectado T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> es cambiado a su posición de paso, en donde se posibilita un flujo de corriente mediante los semiconductores de potencia T<sub>2</sub>, entonces en los bornes X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> del submódulo 7 la tensión desciende a cero. En este caso, el semiconductor de potencia T<sub>1</sub> que puede ser desconectado se encuentra en su posición de bloqueo, en donde un flujo de corriente es interrumpido mediante el semiconductor de potencia T<sub>1</sub> que puede ser desconectado. Esto evita la descarga del condensador 8. Si por el contrario, si el semiconductor de potencia T<sub>1</sub> que puede ser desconectado es llevado a su posición de paso, pero el semiconductor de potencia T<sub>2</sub> que puede ser desconectado a su posición de bloqueo, entonces en los bornes X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> del submódulo 7 se encuentra la tensión del condensador completa U<sub>c</sub>.

El ejemplo de ejecución del dispositivo conforme a la invención, según las figuras 1 y 2, se denomina también como el así llamado convertidor multinivel. Un convertidor multinivel de esa clase, es adecuado, por ejemplo, para accionar máquinas eléctricas, como por ejemplo motores o similares. Además, un convertidor multinivel de esa clase es adecuado también para una utilización en el área de la distribución y la transmisión de energía eléctrica. De este modo, el dispositivo conforme a la invención se utiliza por ejemplo, como acoplamiento apretado, el cual se compone de dos convertidores conectados entre sí del lado de la tensión continua, es donde los convertidores están conectados respectivamente a una red de tensión alterna. Los acoplamientos apretados de esa clase se utilizan

para el intercambio de energía eléctrica entre dos redes de distribución eléctrica, en donde las redes de distribución eléctrica presentan, por ejemplo, una frecuencia, una relación de fase, un tratamiento del punto neutro diferentes, o similares. Se consideran, además, aplicaciones en el área de la compensación de potencia reactiva, como los así llamados FACTS (Flexible AC Transmission Systems) (sistemas de transmisión CA flexibles). Con convertidores multinivel de esa clase también es concebible la transmisión de corriente continua de alta tensión a través de tramos prolongados. A causa de la amplitud de las diferentes opciones de aplicación, se dan diversas tensiones de funcionamiento a las cuales debe adaptarse el respectivo dispositivo conforme a la invención. Por esta razón, el número de submódulos puede variar desde unos pocos submódulos 7 hasta varios cientos. Para poder recurrir a medios de regulación, para este elevado número variable de submódulos 7, que sean fácilmente adaptables a las diferentes cantidades de submódulos 7, la invención presenta una estructura modificada con respecto al estado del arte.

La mencionada estructura de los medios de regulación está ilustrada en la figura 3. Así, los medios de regulación comprenden una unidad de regulación de corriente 10 así como unidades de activación 9p1, 9p2, 9p3 y 9n1 y 9n2 y 9n3. Cada una de las unidades de activación está asociada a un ramal de módulo de fase 6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, o bien 6n3. La unidad de activación 9p1 está por ejemplo conectada con cada submódulo 7 del ramal de módulo de fase 6p1, y genera las señales de control para los semiconductores de potencia que pueden ser desconectados T1, T2. En cada submódulo 7 está proporcionado un sensor de tensión de submódulo, no representado en las figuras. El sensor de tensión de submódulo sirve para detectar la tensión del condensador presente en el condensador 8 del submódulo 7, obteniendo un valor de tensión del condensador  $U_c$  como valor real del submódulo. El valor de tensión del condensador  $U_c$  se proporciona a la respectiva unidad de activación, aquí 9p1. La unidad de activación 9p1, obtiene de esta manera los valores de tensión del condensador de la totalidad de los submódulos 7 del ramal de módulo de fase 6p1 asociado a él, y los suma para obtener un valor real de energía eléctrica de ramal  $U_{c\sum p1}$ , el cual también está asociado al ramal de módulo de fase 6p1. Además de esto, cada unidad de evaluación 9p determina un valor real de submódulo. El valor real de submódulo se calcula a partir de la suma de los submódulos activos, en cuyos bornes de salida X1 y X2 desciende la tensión del condensador  $U_c$ . Los submódulos 7 inactivos, en cuyos bornes de salida X1, X2 la tensión desciende a cero, no se consideran para la formación del valor de submódulo. A la unidad de regulación de corriente 10 se suministra especialmente el valor real de energía eléctrica de ramal  $U_{c\sum p1}$ .

Por lo demás, la unidad de regulación de corriente 10 está conectada a diferentes sensores de medición, no representados en las figuras. De este modo, convertidores de corriente, dispuestos del lado de la tensión alterna de los módulo de fase 2a, 2b, 2c sirven para generar y suministrar valores de medición de corriente de fase I1, I2, I3, y convertidores de corriente dispuestos en cada módulo de fase para generar y suministrar valores de medición de corriente de ramal de módulo de fase  $I_{ramal}$ , así como un convertidor de corriente dispuesto en el circuito de tensión continua del acumulador de corriente sirve para proveer valores de medición de corriente continua  $I_d$ . Los convertidores de tensión de la red de corriente alterna ponen a disposición valores de medición de tensión de fase de las tensiones de fase U1, U2, U3; y los convertidores de tensión continua valores de medición de tensión continua positivos de la tensión positiva  $U_{dp}$  y valores de medición de la tensión continua negativos de la tensión continua negativa  $U_{dn}$ ; en donde los valores de medición de la tensión continua positiva  $U_{dp}$  se corresponde con una tensión continua presente entre la conexión de tensión continua positiva p y la tierra, y los valores de medición de la tensión continua negativa  $U_{dn}$ , con una tensión presente entre la conexión de tensión continua negativa y la tierra. La tensión continua negativa, es negativa. La tensión continua positiva, es positiva.

A la unidad de regulación de corriente 10 se le suministran, además, valores teóricos. En el ejemplo de ejecución mostrado en la figura 3, a la unidad de regulación 10 se suministran un valor teórico de corriente activa  $I_{pref}$ , así como un valor teórico de corriente reactiva  $I_{qref}$ . Además, a la entrada de la unidad de regulación de corriente 10 se coloca un valor teórico de tensión continua  $U_{dref}$ . En lugar del valor teórico de tensión continua  $U_{dref}$  se puede utilizar también un valor teórico de corriente continua  $I_{dref}$  para la otra regulación. De este modo, estos ambos valores teóricos son intercambiables.

Los valores teóricos  $I_{pref}$ ,  $I_{qref}$  y  $U_{dref}$ , así como los mencionados valores de medición entran en interacción unos con otros por la aplicación de diferentes reguladores; donde para cada unidad de activación 9p1, 9p2, 9p3, 9n1, 9n2 y 9n3 se genera un valor teórico de tensión de ramal  $U_{p1ref}$ ,  $U_{p2ref}$ ,  $U_{p3ref}$ ,  $U_{n1ref}$ ,  $U_{n2ref}$ ,  $U_{n3ref}$ . Cada unidad de activación 9 genera señales de control para los submódulos 7 asociados a ella, de modo que la tensión  $U_{p1}$ ,  $U_{p2}$ ,  $U_{p3}$ ,  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$ ,  $U_{n3}$  presente en el circuito en serie de los submódulos se corresponde en lo posible con los respectivos valores teóricos de tensión de ramal  $U_{p1ref}$ ,  $U_{p2ref}$ ,  $U_{p3ref}$ ,  $U_{n1ref}$ ,  $U_{n2ref}$ ,  $U_{n3ref}$ . La tensión  $U_{p1}$ ,  $U_{p2}$ ,  $U_{p3}$ ,  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$ ,  $U_{n3}$  se denomina como valor real total de submódulo.

Las figuras restantes ilustran cómo la unidad de regulación de corriente 10 forma a partir de sus valores de entrada valores teóricos de tensión de ramal  $U_{p1ref}$ ,  $U_{p2ref}$ ,  $U_{p3ref}$ ,  $U_{n1ref}$ ,  $U_{n2ref}$ ,  $U_{n3ref}$ , apropiados. De este modo, la figura 4 muestra que por ejemplo el valor teórico de tensión de ramal  $U_{plref}$  se calcula mediante la combinación lineal de un valor teórico de tensión de fase de red  $U_{red1}$ , de un valor teórico intermedio de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$ , de un valor teórico de tensión continua  $U_{dc}$ , de un valor teórico de tensión de simetrización  $U_{asim}$  y de

un valor teórico de tensión de balance  $U_{dalpl}$ . Esto sucede de manera independiente para cada ramal de módulo de fase  $6p_1, 6p_2, 6p_3, 6n_1, 6n_2, 6n_3$ .

La figura 5 ilustra cómo se determinan los valores teóricos de tensión de fases de red  $U_{red1}, U_{red2}$  y  $U_{red3}$  a partir de los valores de medición de corriente de fase  $I_1, I_2$  y  $I_3$ , y a partir de los valores de medición de tensión de fase  $U_1, U_2, U_3$ . A causa de que los valores de medición de corriente de fase en sumatoria dan cero, los valores de medición de corriente de fase  $I_1, I_2, I_3$  de las tres fases se pueden proyectar en un sistema vectorial bifásico  $\alpha, \beta$ . Esto sucede mediante la unidad de conversión 11. Lo mismo aplica para los valores de medición de tensión de fase  $U_1, U_2, U_3$ . A continuación, los valores de medición se suministran a un regulador 12, el cual genera los valores teóricos de tensión de fase de red  $U_{red1}, U_{red2}, U_{red3}$ , en función del valor teórico de corriente activa  $I_{pref}$ , así como del valor teórico de corriente reactiva  $I_{qref}$ ; en donde nuevamente una unidad de conversión 11 se utiliza para transformar los valores teóricos de tensión de fase de red bidimensionales en valores teóricos de tensión de fase de red tridimensionales.

La figura 6 muestra cómo se forman los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}, U_{ramalp2}$  y  $U_{ramalp3}$  ó  $U_{ramaln1}, U_{ramaln2}$  y  $U_{ramaln3}$ , mencionados por primera vez en la figura 4. Esto sucede a partir de valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{n1}, I_{n2}, I_{n3}$ , cuya determinación se describe a continuación. Los seis valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{n1}, I_{n2}, I_{n3}$  se convierten nuevamente en cuatro valores de corriente de ramal bidimensionales  $\alpha, \beta$  mediante una unidad de conversión 11 tal como fue descrito anteriormente. A continuación, un regulador 12, que aquí se trata de un regulador proporcional simple, se ocupa respectivamente en conjunto con una unidad de conversión 11 de la conversión en los así denominados valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}, U_{ramalp2}$  y  $U_{ramalp3}$ , o bien  $U_{ramaln1}, U_{ramaln2}$  y  $U_{ramaln3}$ .

En la figura 7 se ilustra con claridad la detección de los valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{n1}, I_{n2}, I_{n3}$ . Los valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{n1}, I_{n2}, I_{n3}$  en referencia al ramal de módulo de fase  $6p_1$  no son más que la sumatoria de valores de medición de corriente de ramal de módulo de fase  $I_{ramap1}$ , formados a partir de un convertidor, un valor teórico de corriente circular  $I_{kr1}$  y un valor teórico de corriente de simetrización  $I_{bal1}$ . Los valores teóricos de corriente circular  $I_{kr1}, I_{kr2}$  y  $I_{kr3}$  pueden ser predeterminados dinámicamente por un puesto de control, no representado en las figuras. Lo mismo aplica para los valores teóricos de corriente de simetrización  $I_{balp1}, I_{balp2}$  y  $I_{balp3}$ . Cada valor de corriente de ramal  $I_{p1}$  comprende así tanto valores de medición como valores teóricos. Mediante los valores teóricos de simetrización se pone a disposición una distribución simétrica de la energía eléctrica almacenada respectivamente en los ramales de módulo de fase.

La figura 8 muestra un ejemplo ventajoso para generar valores teóricos de corriente circular  $I_{kr1}, I_{kr2}, I_{kr3}$  adecuados. En primer lugar, la frecuencia angular de la tensión de red  $\omega$  se multiplica con un factor 2. A continuación, se forma el coseno, por ejemplo el seno negativo del argumento  $2\omega$ , y a continuación se multiplica con la amplitud  $Amp$ . A continuación, se determina un correspondiente valor teórico de corriente circular  $I_{kr1}, I_{kr2}, I_{kr3}$  para cada uno de los tres módulos de fase, a partir de ambos valores utilizando para ello una unidad de conversión 11.

La figura 9 ilustra la detección del valor teórico de tensión continua  $U_{dc}$ .  $U_{dc}$  se determina partiendo de un valor de corriente continua  $I_d$  medido y de un valor de corriente continua de referencia  $I_{dobjetivo}$ , donde el valor de corriente continua de referencia  $I_{dobjetivo}$  se detecta como se describe a continuación. En primer lugar, se forma la diferencia a partir del valor de corriente continua  $I_d$  medido y del valor de corriente continua de referencia  $I_{dobjetivo}$ . A continuación, la diferencia se suministra a un regulador proporcional 12 o a un regulador PI de acción proporcional e integral, en cuya salida se puede detectar el valor teórico de tensión continua.

En la parte inferior de la figura 9 se representa cómo se puede determinar el valor de corriente continua de referencia  $I_{dobjetivo}$ . Esto sucede, primero con la formación de un valor de medición de energía eléctrica total  $u_c$ , el cual es idéntico a la sumatoria de todos los valores de tensión de condensador  $U_c$  del dispositivo 1 conforme a la invención. El valor de medición de energía eléctrica total  $u_c$  proporciona entonces una medida para la energía eléctrica almacenada en el respectivo convertidor. Una medida de este tipo se puede desarrollar de otras maneras discretionales. Para controlar que la mencionada energía eléctrica no sea demasiado caudalosa, se compara el valor de medición de energía eléctrica total  $u_c$  con un valor teórico de tensión total  $u_{cref}$ , en donde a través de un formador de diferencia 13 se forma la diferencia. La mencionada diferencia se suministra a continuación a un regulador 12, en cuya salida puede ser leído un valor de corriente de discrepancia de energía eléctrica total, el cual es suministrado a un sumador 14. El sumador 14 forma la sumatoria a partir del valor de corriente de discrepancia de energía eléctrica total y de un valor teórico de corriente continua  $I_{dref}$ , conocido por la unidad de regulación de corriente, obteniendo el valor teórico de corriente continua de referencia  $I_{dobjetivo}$ . Mediante esta determinación del valor teórico de tensión continua  $U_{dc}$ , la regulación puede evitar entonces el almacenamiento de energía eléctrica demasiado elevada en los condensadores 8 del convertidor 1.

La figura 10 ilustra físicamente la significación de una tensión de asimetría  $U_{asim}$ . En la figura 10, en líneas discontinua del lado de la tensión alterna de los módulos de fase del dispositivo 1 conforme a la invención, se

muestra un formador de punto neutro 15. En el circuito de tensión continua  $p, n$  se puede observar, también en líneas discontinua, un divisor de tensión 16, el cual presenta la misma resistencia a ambos lados del punto potencial NGS. La tensión de asimetría  $U_{asim}$  es la tensión presente entre el punto neutro NTR del formador de punto neutro 15 y el punto potencial NGS. Dicha tensión se determina primero a través de la medición de la tensión presente entre una conexión de corriente continua positiva  $p$  y tierra, obteniendo un valor de tensión continua positivo  $U_{dp}$ , y a través de la medición de la tensión presente entre el polo negativo de la tensión continua y tierra, obteniendo un valor de tensión continua negativo  $U_{dn}$ . A continuación, se forma la diferencia de los aportes de los valores de tensión continua negativos  $U_{dn}$  y de los positivos  $U_{dp}$ , de lo cual resulta una diferencia de tensión continua  $\Delta u_d$ . La diferencia de tensión continua  $\Delta u_d$  se coloca a la entrada de un regulador, donde al regulador además se le prefija una diferencia teórica de tensión continua, de modo que a la salida del regulador se ha generado un valor, con el cual la regulación minimiza la diferencia entre la diferencia de tensión continua y la diferencia teórica de tensión continua. En la salida del regulador se puede detectar la tensión teórica de simetrización  $U_{asim}$ , y conforme a combinación lineal ilustrada en la figura 1, conectar adicionalmente a otros valores teóricos intermedios de tensión.

Los valores teóricos de tensión de balance  $U_{balp1}, U_{balp2}, U_{balp3}, U_{baln1}, U_{baln2}$  y  $U_{baln3}$  se determinan de la siguiente manera: Primero, se detectan los valores de tensión de condensador  $U_c$  a través de la medición de la tensión presente en los condensadores de los submódulos 7, y se suman obteniendo los valores reales de energía eléctrica de ramal  $U_{c\Sigma p1}, U_{c\Sigma p2}, U_{c\Sigma p3}, U_{c\Sigma n1}, U_{c\Sigma n2}, U_{c\Sigma n3}$ . De este modo, se consideran todos los submódulos del respectivo ramal de módulo de fase y esto independientemente de que el respectivo submódulo esté conectado o no. El valor real de energía eléctrica de ramal es de esta manera una medida de la energía eléctrica almacenada en el módulo de fase. Por lo tanto, los valores reales de energía eléctrica de ramal se asocian respectivamente a un ramal de módulo de fase  $9p1, 9p2, 9p3, 9n1, 9n2$  y  $9n3$ . Los valores reales de energía eléctrica de ramal  $U_{c\Sigma p1}, U_{c\Sigma p2}, U_{c\Sigma p3}, U_{c\Sigma n1}, U_{c\Sigma n2}, U_{c\Sigma n3}$  se comparan unos con otros y de la comparación se deriva un valor. Dicho valor se transmite a continuación con un valor teórico a un regulador, en cuya salida se pueden detectar los valores teóricos de tensión de balance  $U_{balp1}, U_{balp2}, U_{balp3}, U_{baln1}, U_{baln2}$  y  $U_{baln3}$ .

La figura 11 muestra otra posibilidad para la detección de valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}, U_{ramalp2}$  y  $U_{ramalp3}$ , a partir de los valores de corriente de ramal  $I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}$  y  $I_{n1}, I_{n2}$  y  $I_{n3}$  ampliados. Primero, valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}$  y  $I_{n1}, I_{n2}$  y  $I_{n3}$  se pasan mediante unidades de conversión 11, desde un espacio vectorial tridimensional a un espacio vectorial bidimensional  $\alpha, \beta$ . A continuación, se realiza la regulación de una porción de corriente de red y de una porción de corriente circular, independientemente una de la otra. De esta manera, a través de combinaciones lineales apropiadas se forman porciones de corriente de red  $i_{Nal}$  y la porción de corriente de red  $i_{Nbe}$ , y se suministran al regulador 12 con dos valores teóricos, no representados. El regulador 12 forma en su salida para la porción de corriente de red, un Valor- $\alpha$   $u_{Nal}$ , o bien un valor- $\beta$   $u_{Nbe}$ . Para la porción de corriente circular, la regulación se realiza de la misma manera. Se obtienen valores de corriente circular  $i_{kral}$  y  $i_{krbe}$ , donde en la salida del regulador 12, representado en la figura 11 abajo, se pueden detectar porciones del circuito de tensión de red  $u_{kral}$  y  $u_{krbe}$ . A través de una combinación lineal y conversión en el espacio trifásico se obtienen los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$  a  $U_{ramaln3}$ .

A diferencia del procedimiento propuesto en la figura 11, los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$  a  $U_{ramaln3}$  pueden ser determinados a partir de los valores de corriente ampliados  $I_{p1}, I_{p2}$  y  $I_{p3}$  también independientemente unos de otros. Para ello, tal como se ilustra en la figura 12, para cada valor de corriente de ramal  $I_{p1}$  a  $I_{n3}$  está proporcionado un regulador 12 particular; en donde los valores de corriente de ramal  $I_{p1}$  a  $I_{n3}$  se determinan como se desarrolló anteriormente. En el caso del regulador 12 se trata, por ejemplo, de un regulador proporcional.

La figura 13 muestra otro procedimiento para detectar los valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}, \dots, U_{ramaln3}$ . Primero, los valores de medición de corriente de fase  $I_1, I_2$  y  $I_3$  y los valores de medición de tensión de fase  $U_1, U_2$  y  $U_3$  se pasan de un espacio trifásico a un espacio bifásico  $\alpha, \beta$ , y los respectivos valores de medición convertidos se suministran a un regulador vectorial 12. Además, al regulador 12 se suministran un valor teórico de corriente activa  $I_{pref}$ , así como un valor teórico de corriente reactiva  $I_{qref}$ . El regulador vectorial 12 genera en su salida valores de corriente auxiliares  $I_{Hal}$  y  $I_{Hbe}$  a medida que se vuelve mínima la diferencia entre el valor teórico de corriente activa y el valor de medición de corriente activa, determinado a partir de los valores de medición; y simultáneamente a medida que se vuelve mínima la diferencia de los valores de medición de corriente reactiva y el valor teórico de corriente reactiva. A continuación, los valores de corriente auxiliares  $I_{Hal}, I_{Hbe}$  se combinan linealmente con los valores de corriente de ramal ampliados  $I_{p1}, \dots, I_{p3}$ , como se sugiere en la figura 13. Como ya se describió, los valores de corriente de ramal  $I_{p1}$  a  $I_{n3}$  comprenden valores de corriente teóricos, con los cuales el regulador 12 genera valores de tensión de ramal bidimensionales  $\alpha, \beta$ , y a continuación la unidad de conversión 11 valores teóricos intermedios de tensión de ramal  $U_{ramalp1}$  a  $U_{ramalp3}$  trifásicos.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (1) para convertir una corriente eléctrica

5 - con al menos un módulo de fase (2a, 2b, 2c), el cual presenta una conexión de tensión alterna ( $3_1, 3_2, 3_3$ ) y con al menos una conexión de tensión continua (p,n), donde entre cada conexión de tensión continua (p,n) y cada conexión de tensión alterna ( $3_1, 3_2, 3_3$ ) está conformado un ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3), y donde cada ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3) dispone de un circuito en serie de submódulos (7), los cuales presentan respectivamente un condensador (8) y al menos dos semiconductores de potencia (T1, T2);

- con sensores de medición para la provisión de valores reales; y

10 - con medios de regulación (9, 10), los cuales están conectados con los sensores de medición y están dispuestos para la regulación del dispositivo (1) en función de los valores reales y de los valores teóricos predeterminados; caracterizado porque los medios de regulación (9, 10) presentan una unidad de regulación de corriente (10) y una unidad de activación asociada a cada una de los ramales de módulo de fase; en donde la unidad de regulación de corriente (10) está dispuesta para la provisión de valores teóricos de tensión de los ramales a las unidades de activación (9), y las unidades de activación están conectadas entre los submódulos (7) y la unidad de regulación de corriente (10) y están dispuestas para producir señales de control para los submódulos mencionados;

15

- en donde las unidades de activación obtienen, como valores reales de los submódulos, los valores de tensión del condensador de todos los submódulos del ramal de módulo de fase asociado a ellos; suman estos valores reales de los submódulo para obtener un valor real de energía eléctrica del ramal; y suministran el valor real de energía eléctrica del ramal a la unidad de regulación de corriente;

20 - en donde las unidades de activación obtienen, de la unidad de regulación de corriente, un valor teórico de tensión del ramal;

- y en donde las unidades de activación generan señales de control para los submódulos asociados a ellas de modo que la tensión presente en la conexión en serie de estos submódulos se corresponda lo más posible con el respectivo valor teórico de tensión de ramal.

25 2. Dispositivo (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque cada submódulo (7) dispone de un sensor de submódulo, el cual está conectado con la unidad de activación (9) asociada al submódulo (7), y provee uno de los valores reales de submódulo, el cual es un valor de tensión del condensador ( $U_c$ ) que se corresponde con una de las tensiones presentes en el condensador (8) del respectivo submódulo (7).

30 3. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque cada unidad de activación (9) está conectada con todos los sensores de submódulo del ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3) asociado a el, y está dispuesta para la provisión de un valor real sumado para la unidad de regulación de corriente, donde el valor real sumado es la suma de todos los valores reales de submódulo del respectivo ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3).

35 4. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la unidad de regulación de corriente (10) está dispuesta para proveer el valor teórico de tensión de ramal ( $U_{p1ref}$ ), a cada unidad de activación (9).

5. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los sensores de medición comprenden sensores de corriente de ramal, los cuales están dispuestos para medir las corrientes de ramal de fase ( $I_{ramal}$ ) que circulan en los ramales de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3).

40 6. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la unidad de regulación de corriente (10) está dispuesta para regular las corrientes de ramal de fase ( $I_{ramal}$ ).

7. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los valores teóricos comprenden un valor teórico de corriente reactiva ( $I_{qref}$ ) y un valor teórico de corriente activa ( $I_{pref}$ ) y/o un valor teórico de corriente continua ( $I_d$ ).

45 8. Procedimiento para convertir una corriente mediante un convertidor (1), el cual presenta al menos un módulo de fase (2a, 2b, 2c) con al menos una conexión de tensión continua (p,n) y una conexión de tensión alterna ( $3_1, 3_2, 3_3$ ), donde entre cada conexión de tensión continua y la conexión de tensión alterna está conformado un ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3), la cual dispone de un circuito en serie de submódulos (7), los cuales presentan respectivamente un condensador (8) y al menos dos semiconductores de potencia (T1, T2), en el cual una

- unidad de regulación de corriente (10) es abastecida con valores reales y con valores teóricos; por la unidad de regulación de corriente se determinan, en función de los valores reales y de los valores teóricos, mediante un regulador, valores teóricos de tensión de ramal, los cuales están asociados respectivamente a un ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3); los valores teóricos de tensión de ramal se suministran respectivamente a una unidad de activación (9); y cada unidad de activación (9) genera, en función de los valores teóricos de tensión de ramal, señales de control para los submódulos (7) asociados a ella, de modo que la tensión presente en la conexión en serie de estos submódulos se corresponda lo más posible con el respectivo valor teórico de tensión de rama;
- donde las unidades de activación obtienen, como valores reales de los submódulos, los valores de tensión del condensador de todos los submódulos del ramal de módulo de fase asociado a ellos; estos valores reales de los submódulo son sumados por la unidad de activación para obtener un valor real de energía eléctrica del ramal; y el valor real de energía eléctrica del ramal se suministra por la unidad de activación a la unidad de regulación de corriente;
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque los valores reales comprenden valores reales de energía eléctrica de ramal, los cuales son transmitidos por las unidades de activación (9) a la unidad de regulación de corriente (10); donde los valores reales de energía eléctrica de ramal se forman por la sumatoria de los valores reales de submódulo detectados en los submódulos.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 9, caracterizado porque los valores teóricos de tensión de ramal se forman por una combinación lineal de valores teóricos intermedios de tensión, donde los valores teóricos intermedios de tensión comprenden un valor teórico de tensión continua (Udc); donde el valor teórico de tensión continua (Udc) se determina en función de la diferencia entre un valor de corriente continua de referencia predeterminado (Iobjetivo) y un valor comprobado de corriente continua (Id) obtenido a través de medición.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado porque la diferencia de tensión total se determina formando la diferencia entre un valor teórico de la tensión total (ucref) predeterminado y un valor de medición de energía eléctrica total (uc) determinado a través de la sumatoria de las tensiones presentes en todos los acumuladores de energía eléctrica del convertidor; y la diferencia de tensión total se suministra a un regulador (12) obteniendo un valor de corriente de discrepancia de energía eléctrica total; donde el valor de corriente de discrepancia de energía eléctrica total se suma con un valor teórico de corriente continua (Idref) obteniendo el valor de corriente continua de referencia (Iobjetivo).
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 11, caracterizado porque los valores teóricos intermedios de tensión comprenden para cada unidad de activación (9) un valor teórico de tensión de fases de red (Ured1, Ured2, Ured3).
13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque los valores teóricos de tensión de fase de red (Ured1, Ured2, Ured3) se determinan en función de valores teóricos de corriente mediante un regulador (12), a partir de valores de corriente de fase (I1, I2, I3), los cuales se obtienen a través de la medición de las corrientes de fase de los módulos de fase (2a, 2b, 2c) del lado de la tensión alterna.
14. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque los valores teóricos de tensión de fase de red (Ured1, Ured2, Ured3) se determinan en función de valores teóricos mediante un regulador (12), en función de valores de tensión de fase (U1, U2, U3), los cuales se obtienen a través de la medición de las tensiones de fase de los módulos de fase (2a, 2b, 2c) del lado de la tensión alterna.
15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 14, caracterizado porque los valores teóricos intermedios de tensión comprenden, para cada ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3), un valor teórico intermedio de tensión de ramal (Uramalp1, Uramalp2, Uramalp3, Uramaln1, Uramaln2, Uramaln3), donde los valores teóricos intermedios de tensión de ramal (Uramalp1, Uramalp2, Uramalp3, Uramaln1, Uramaln2, Uramaln3) se determinan mediante un regulador (12) en función de valores de corriente de ramal (Ip1, Ip2, Ip3, In1, In2, In3) ampliados; donde cada valor de corriente de ramal (Ip1, Ip2, Ip3, In1, In2, In3) ampliado se calcula formando la suma a partir de un valor de medición de corriente de ramal de módulo de fase (Iramap1, Iramap2, Iramap3, Iraman1, Iraman2, Iraman3), el cual se obtiene a través de la detección de una corriente de ramal de módulo de fase que circula en el respectivo ramal de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3), a partir de valores teóricos de corriente circular (Ikr1, Ikr2, Ikr3) definidos y a partir de valores teóricos de corriente de sistematización (Ibalp1, Ibalp2, Ibalp3, Ibaln1, Ibaln2, Ibaln3) definidos; donde los valores teóricos de corriente de sistematización (Ibalp1, Ibalp2, Ibalp3, Ibaln1, Ibaln2, Ibaln3) se determinan en función de los valores reales de energía eléctrica de ramal de los ramales de módulo de fase (6p1, 6p2, 6p3, 6n1, 6n2, 6n3) ; y donde los valores teóricos de corriente circular sirven para definir las corrientes circulares que son porciones de las corrientes de ramal de módulo de fase.

16. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado porque los valores teóricos intermedios de tensión de ramal presentan una tensión teórica de asimetría ( $U_{asim}$ ), donde la tensión teórica de asimetría ( $U_{asim}$ ) se define:
- a través de la medición de la tensión entre una conexión de corriente continua positiva (p) y tierra, obteniendo un valor de tensión continua positivo ( $U_{dp}$ ), y a través de la medición de la tensión entre una conexión de corriente continua negativa (n) y tierra, obteniendo un valor de tensión continua negativo ( $U_{dn}$ );
  - a través de la formación de la diferencia de los aportes de los valores de tensión continua positiva y de la negativa, obteniendo una diferencia de tensión continua ( $\Delta u_d$ );
  - a través de la aplicación de la diferencia de tensión continua ( $\Delta u_d$ ) en la entrada de un regulador, obteniendo tensión teórica de asimetría ( $U_{asim}$ ) a la salida del regulador.
17. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado porque para determinar los valores teóricos intermedios de tensión de ramal ( $U_{ramalp1}$ , ... $U_{ramaln3}$ ), los valores de corriente de ramal ( $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{p3}$ ,  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$ ) ampliados se descomponen como magnitudes de entrada del regulador en una porción de la corriente de red y una porción de la corriente circular.
18. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado porque cada valor de corriente de ramal ( $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{p3}$ ,  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$ ) ampliado se regula independientemente de los valores de corriente de ramal ( $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{p3}$ ,  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$ ) restantes.
19. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado porque a través de la medición de corrientes de fase del lado de la tensión alterna, se obtienen valores de corriente de fase ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ), y a través de la medición de tensiones de fase del lado de la tensión alterna de los ramales de módulo de fase, valores de tensión de fase ( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ); a partir de los valores de corriente de fase ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) y de los valores de tensión de fase ( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ), en función de valores teóricos mediante un regulador, se determinan valores de corriente auxiliares ( $I_{Ha1}$ ,  $I_{Hbe}$ ); los valores de corriente auxiliares ( $I_{Ha1}$ ,  $I_{Hbe}$ ) se suman a, o bien se sustraen de los valores de corriente de ramal ( $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{p3}$ ,  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$ ) ampliados, obteniendo sumas auxiliares o diferencias auxiliares; donde las sumas auxiliares y/o diferencias auxiliares se colocan en la entrada de un regulador (12); donde en la salida del mencionado regulador (12) se detectan los valores teóricos intermedios de tensión de ramal ( $U_{ramalp1}$ ,  $U_{ramalp2}$ ,  $U_{ramalp3}$ ,  $U_{ramaln1}$ ,  $U_{ramaln2}$ ,  $U_{ramaln3}$ ).

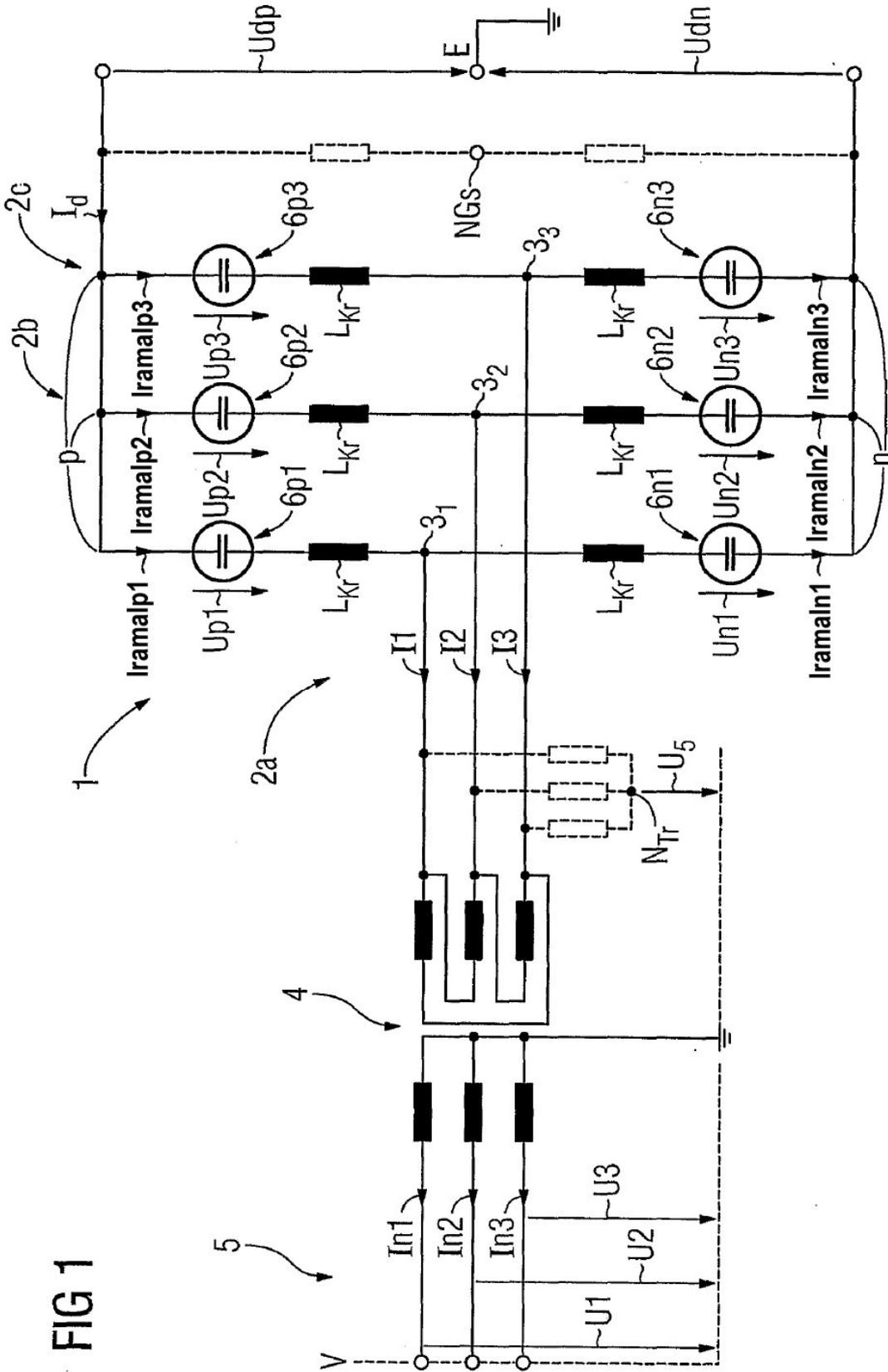


FIG 1

FIG 2

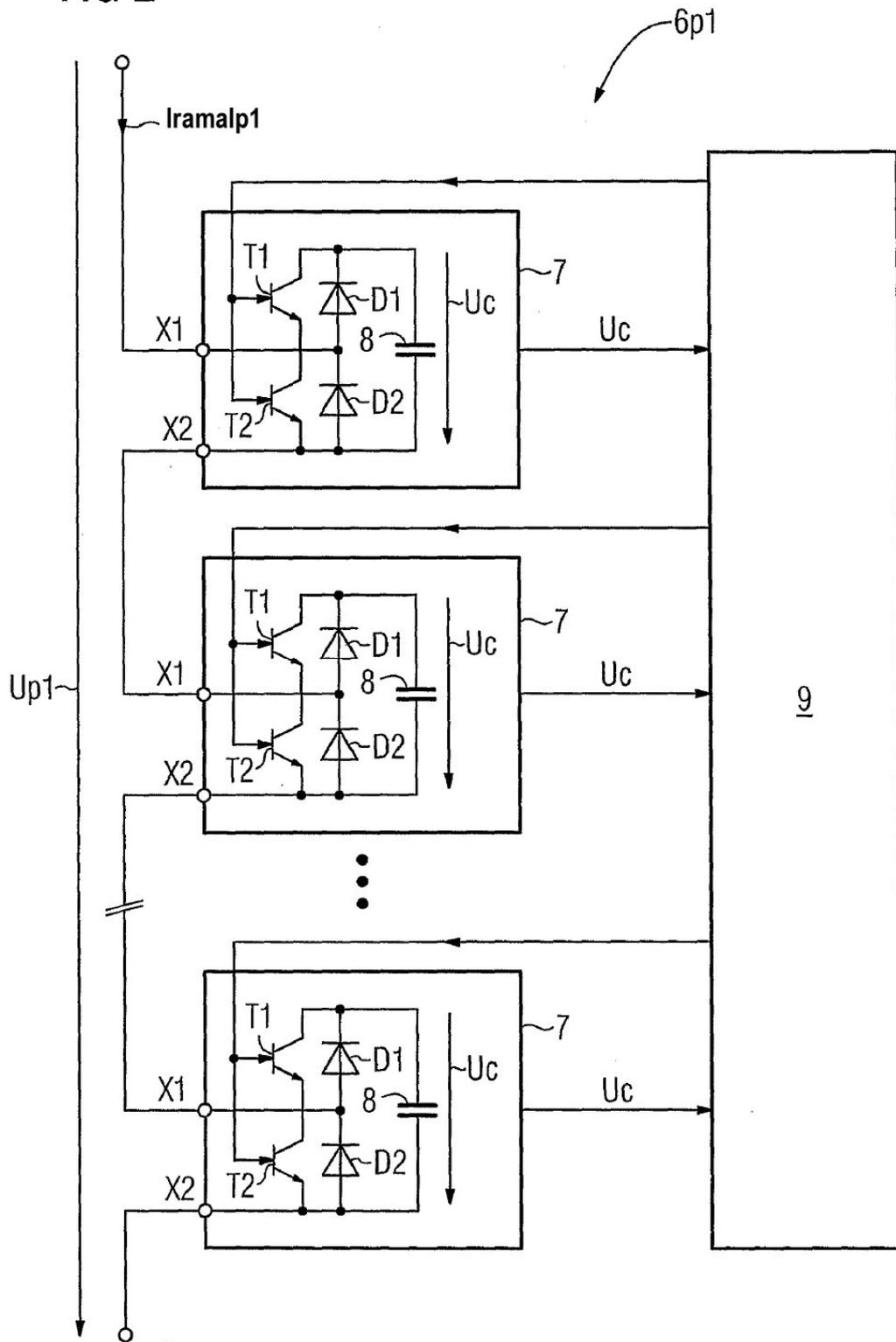


FIG 3

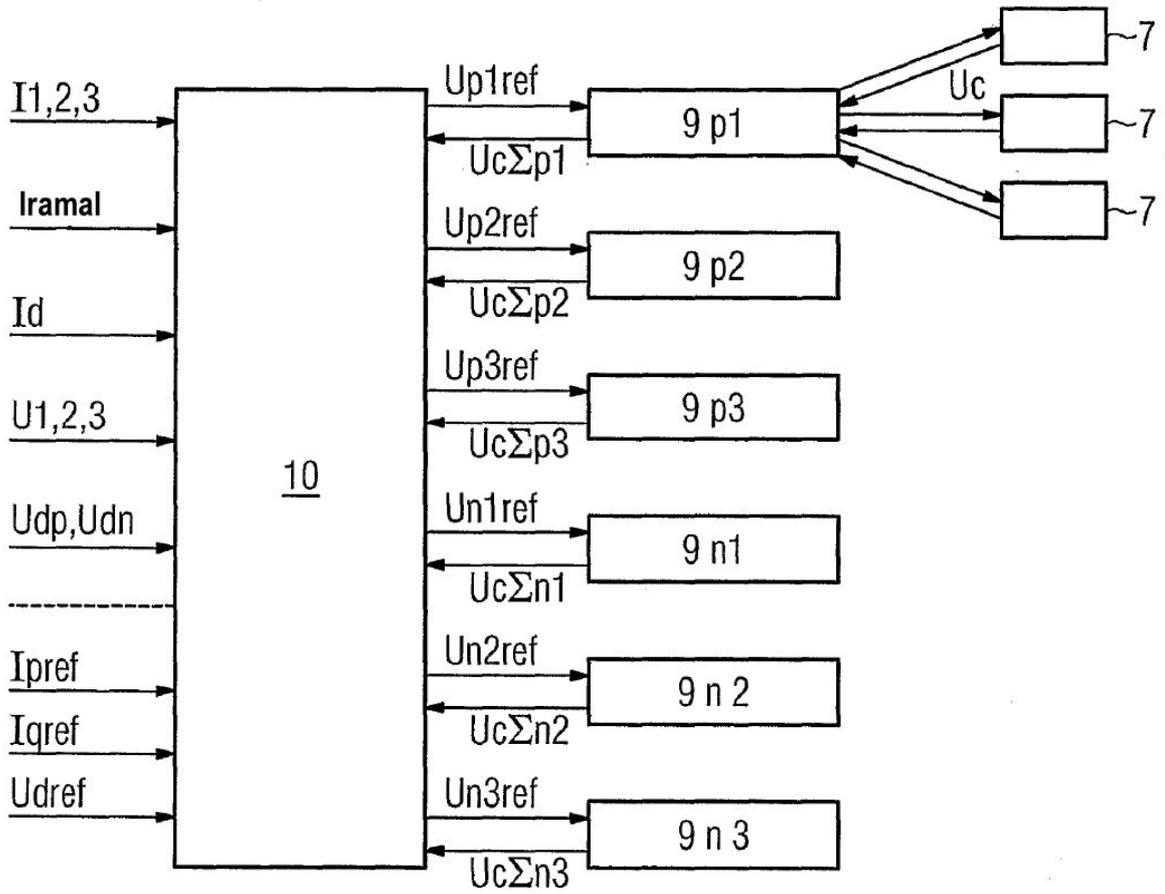


FIG 4

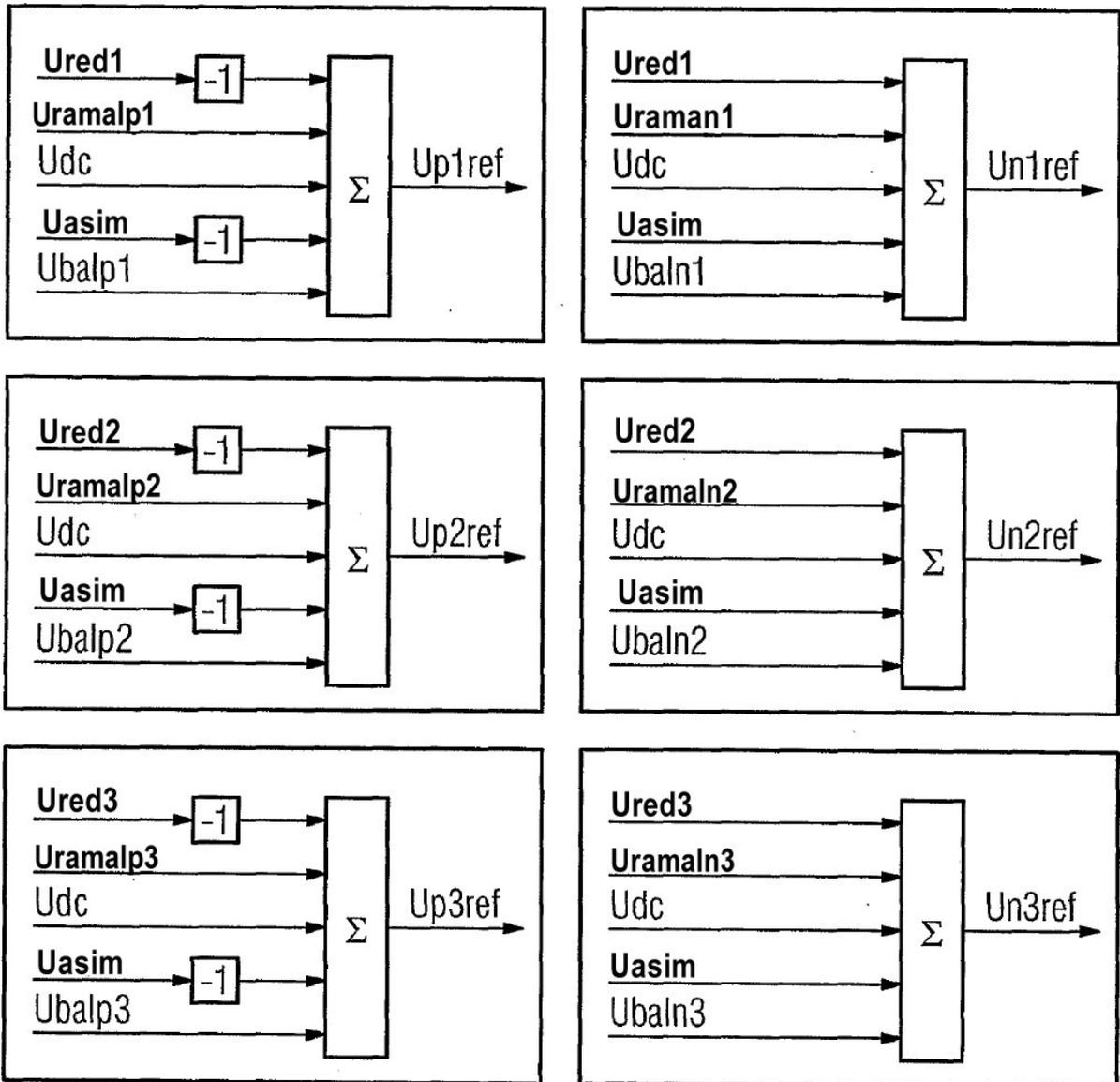


FIG 5

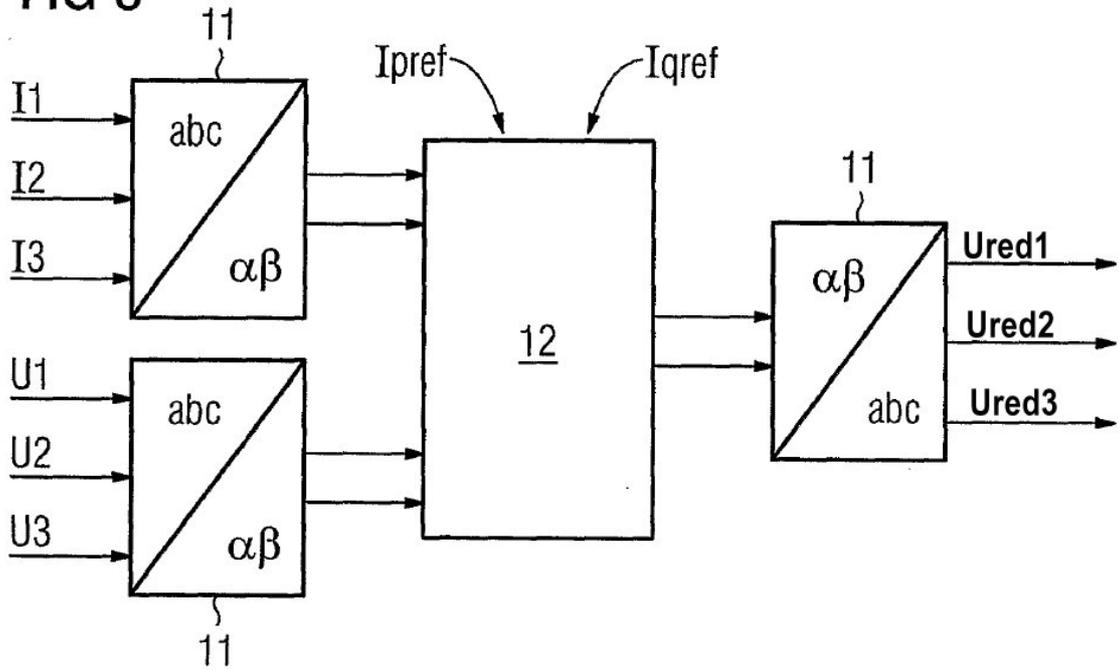


FIG 6

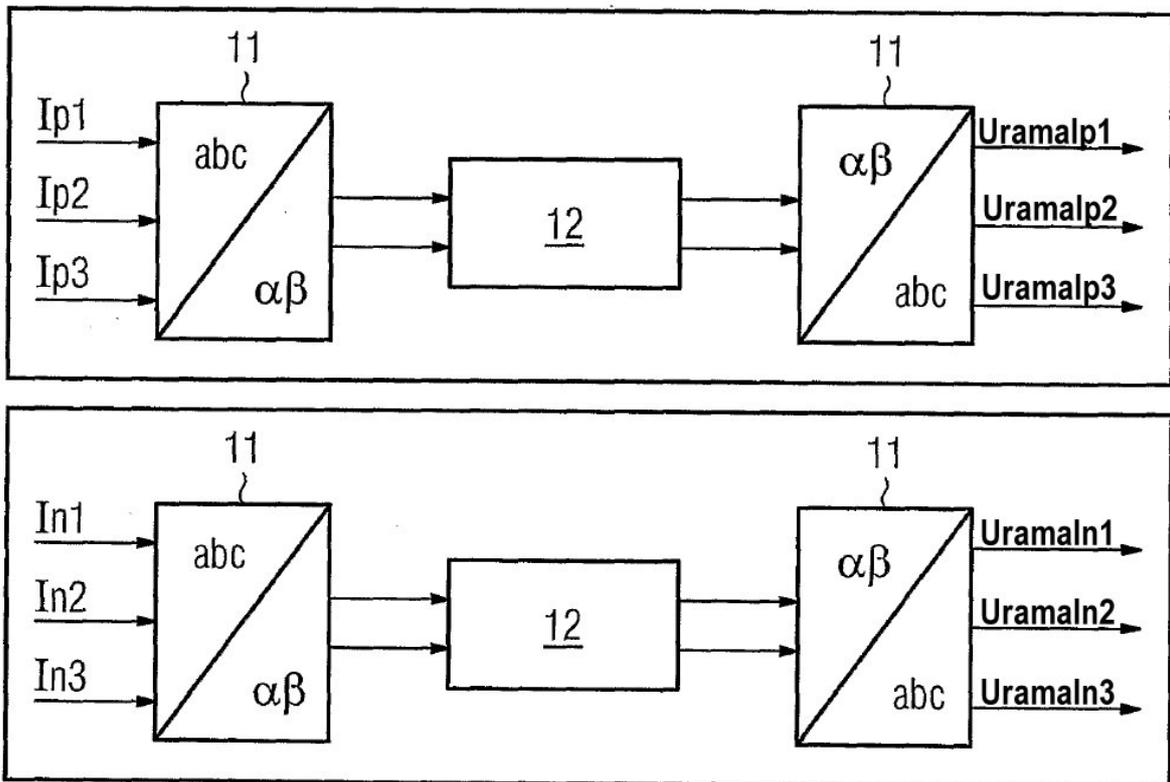


FIG 7

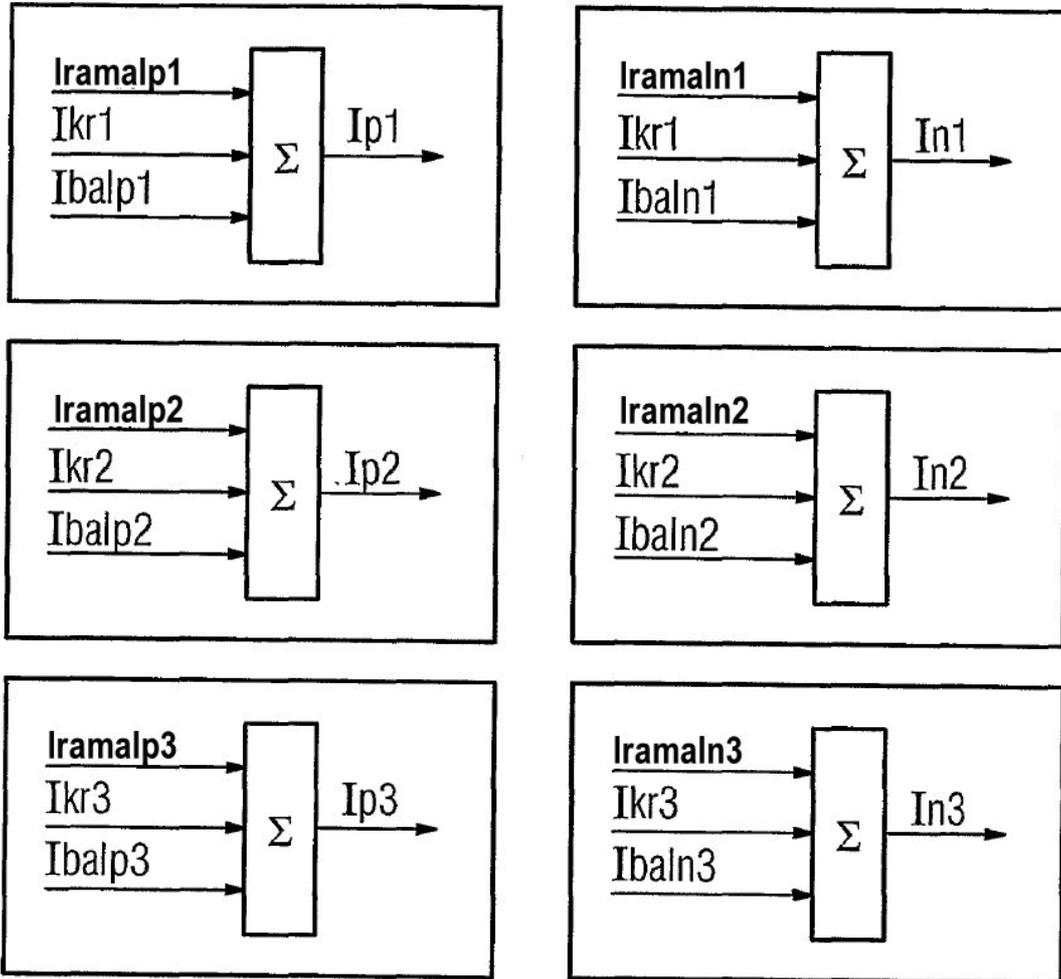


FIG 8

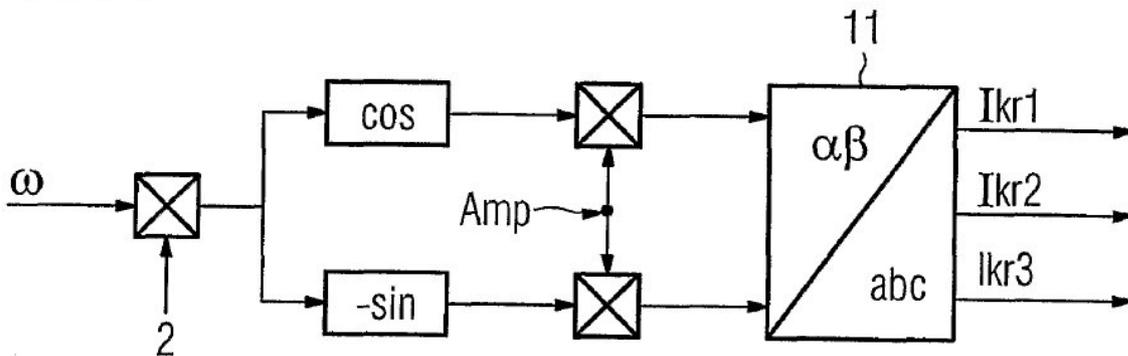


FIG 9

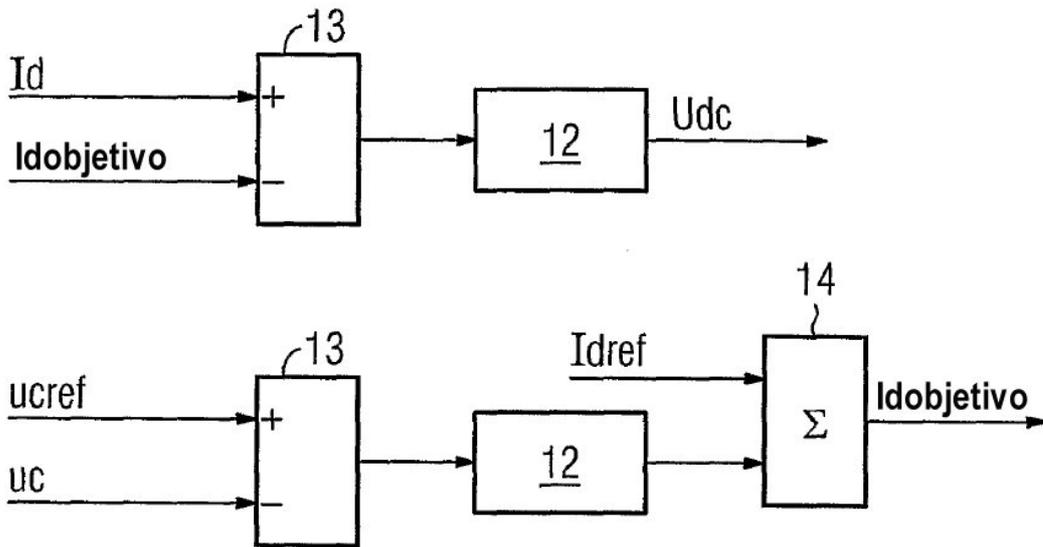


FIG 12

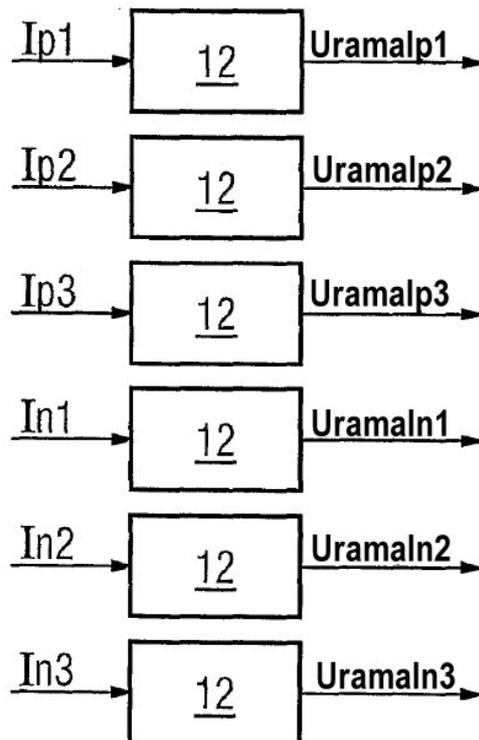


FIG 10

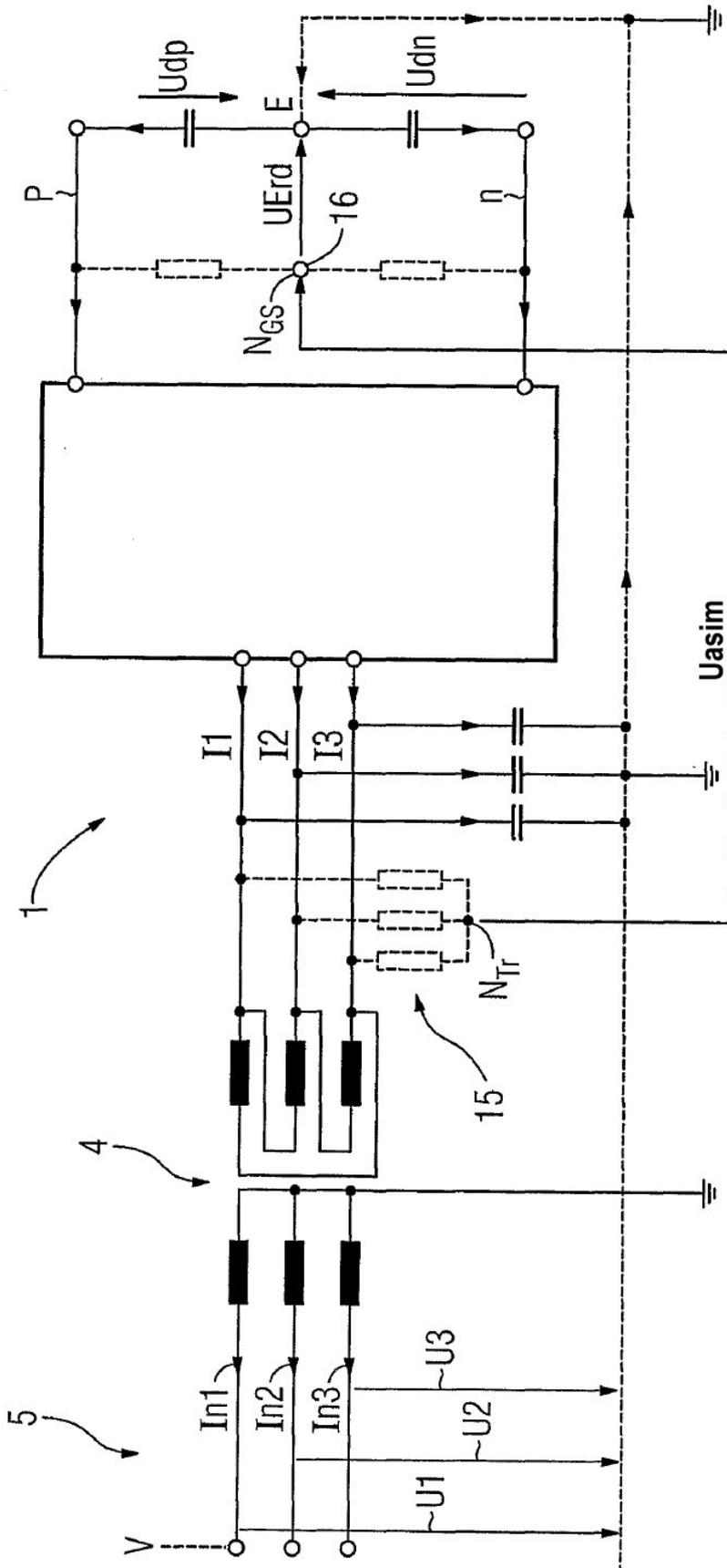


FIG 11

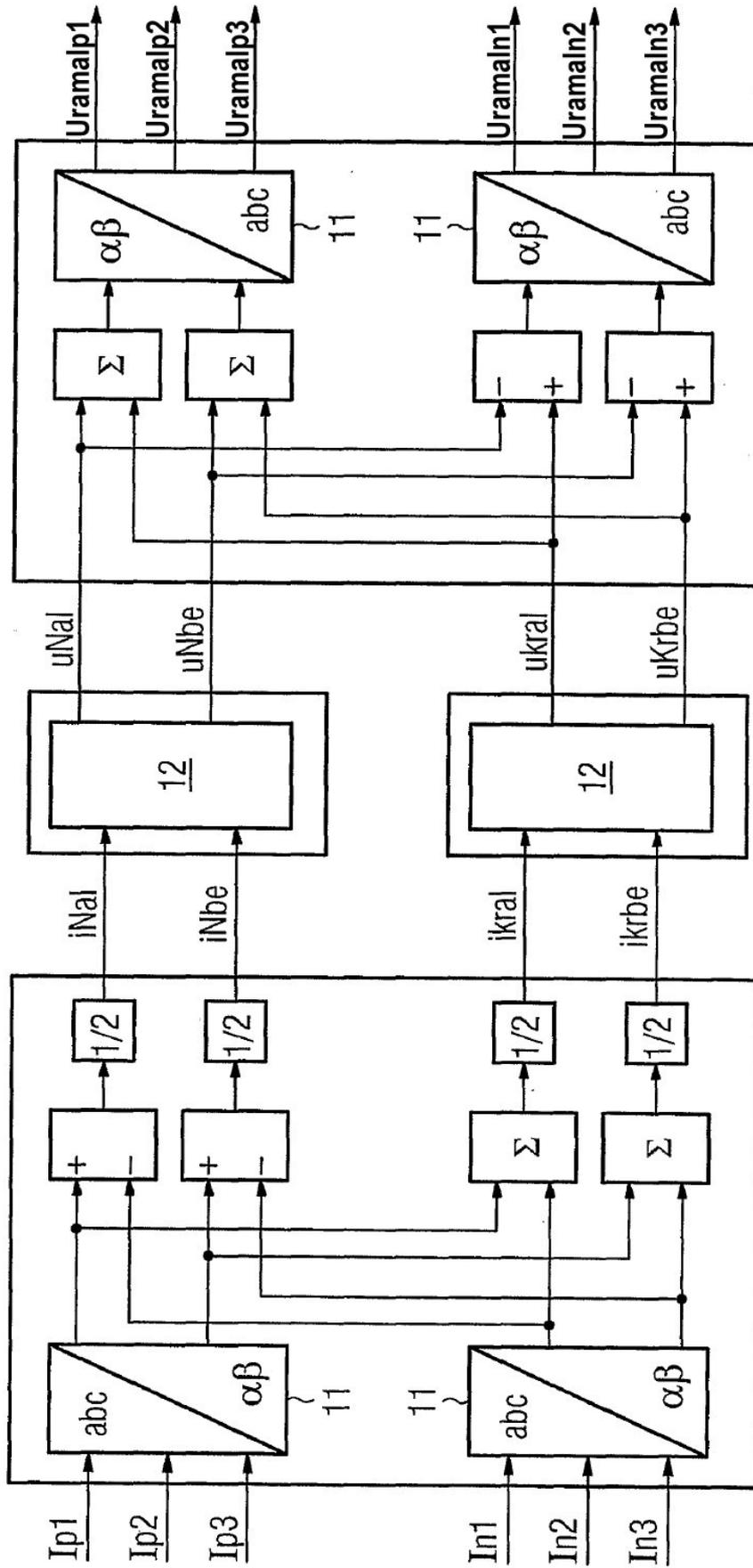


FIG 13

