

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 416**

51 Int. Cl.:

H02M 7/23 (2006.01)

H02M 1/12 (2006.01)

H02M 5/458 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2014 E 14171958 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 2814164**

54 Título: **Convertidor de energía de CA multifásica y método para controlar un convertidor de energía de CA multifásica**

30 Prioridad:

12.06.2013 CH 11092013

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

16.11.2017

73 Titular/es:

**AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
GMBH (100.0%)
Donau-City-Strasse 1
1220 Wien , AT**

72 Inventor/es:

**KOLAR, JOHANN W.;
CORTES ESTAY, PATRICIO y
BOILLAT, DAVID O.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 642 416 T3

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

DESCRIPCIÓN

Convertidor de energía de CA multifásica y método para controlar un convertidor de energía de CA multifásica

- 5 Las fuentes de alimentación de CA de alto rendimiento son una herramienta muy importante para probar nuevos convertidores de electrónica de energía suministrados por una red de CA monofásica o trifásica. Permiten comprobar el comportamiento del nuevo equipo bajo diferentes condiciones de funcionamiento, como la presencia de armónicos en la tensión de alimentación, y fallas de red como la pérdida de una fase de una alimentación trifásica [1] - [3]. Por consiguiente, un requisito importante para la fuente de CA es la generación de tensiones equilibradas o
- 10 desequilibradas, incluso CC, así como el funcionamiento con cargas no equilibradas o no lineales, incluidas cargas monofásicas. En el caso de cargas con conexión a tierra, la fuente de CA debe asegurarse de que no circula corriente por el bucle de conexión a tierra que ocurre a través de la conexión a tierra del punto en estrella de la red. También es altamente deseable permitir la conexión en paralelo de dos o más fuentes de CA, usándolas como módulos para aumentar la energía del sistema. Cualquier corriente que circula entre los módulos debe ser evitada.
- 15 Para gestionar cargas desequilibradas o no lineales, se incluye una cuarta pata en la etapa de salida que proporciona una conexión de punto neutro. Además, el uso de una cuarta pata permite aumentar el rango de tensión de salida y reducir los condensadores de enlace de CC, en comparación con la conexión directa del punto neutro de la carga al punto medio del enlace de CC [4] (véase la **Figura 1**). Modelado y control de sistemas de 4 piernas han sido estudiados en la literatura y se han propuesto varios esquemas de modulación y control.
- 20 La mayoría de los esquemas de control consideran una transformación de coordenadas usando un marco de referencia estático o rotatorio y un circuito equivalente, representando el sistema de 4 patas como tres sistemas monofásicos [4] - [7], como se muestra en la **Figura 2**. El uso de la modulación de ancho de pulso basada en portadoras (PWM) [8], así como la modulación de vector espacial (SVM) utilizando una representación tridimensional de los vectores de tensión han sido propuestos en la literatura [4], [9], [10] (véase la **Figura 3**). Todos estos enfoques consideran tensiones sinusoidales trifásicas y no son adecuados o fácilmente aplicables si las tensiones de referencia pueden tener cualquier forma de onda programada, incluyendo CC.
- 25 Teniendo en cuenta la fuente de CA como módulo, se pueden identificar tres tipos de corrientes de circulación: corrientes de secuencia cero, corrientes de conexión a tierra del módulo y, para módulos conectados en paralelo, corrientes de circulación entre módulos. Las corrientes de secuencia cero circulan dentro del convertidor de energía y pueden controlarse para proporcionar alguna ventaja adicional en el funcionamiento del convertidor, por ejemplo, maximizar el rango de modulación de salida del inversor. Las corrientes de conexión a tierra del módulo pueden aparecer cuando se suministra tensión a cargas con conexión a tierra, ya que el punto en estrella de la red que alimenta la fuente de CA está conectado a tierra. Este efecto es más probable que aparezca con cargas desequilibradas, cargas no lineales y cargas activas. En consecuencia, el diseño del circuito de fuente de CA y el
- 30 esquema de control deben considerar la mitigación de las corrientes de conexión a tierra del módulo, proporcionando una operación segura con cargas conectadas a tierra. La inclusión de una etapa de aislamiento podría prevenir la aparición de corrientes circulantes, pero requiere un mayor esfuerzo de implementación. Las corrientes dentro del módulo circulan entre módulos de fuente de CA conectados en paralelo y pueden generar una distribución de energía irregular entre los módulos y la distorsión de las corrientes de entrada. Este problema ha sido discutido en la literatura considerando la conexión en paralelo de los rectificadores de fuente de tensión [12] - [14], los rectificadores de fuente de corriente [15] y los inversores de fuente de tensión [16], [17]. El esquema de control de cada módulo de fuente de CA debe considerar la regulación de las corrientes de secuencia cero en el lado de
- 35 entrada para tener un funcionamiento equilibrado de los módulos sin corrientes entre módulos. En el lado de salida, se puede implementar una configuración maestro-esclavo de los módulos para garantizar un reparto equitativo de la corriente de carga.
- 40 El documento US 2005/140142 A1 divulga un convertidor de energía trifásico en el que los puntos en estrella de un filtro de entrada y de un filtro de salida, el punto medio de un enlace de CC y el punto medio de un puente adicional todos están conectados a un punto neutro común.
- 45 Existe la necesidad de un esquema de control para una fuente de alimentación de CA trifásica de alto rendimiento con una etapa de salida de inversor de cuatro patas que reduce o elimina una corriente que circula a través del bucle de conexión a tierra que ocurre a través de la conexión a tierra de un punto en estrella de red. Además, existe la necesidad de un esquema de control que permita la conexión en paralelo de dos o más fuentes de CA, utilizándolas como módulos para aumentar la energía del sistema y que reduzca o elimine las corrientes que circulan entre los
- 50 módulos.
- 55 Por lo tanto, un objetivo de la invención es crear un esquema de control del tipo mencionado inicialmente que satisfaga una o más de las necesidades mencionadas anteriormente.
- 60 Para esto, **se proporciona un método para controlar** un convertidor de energía de CA multifásica, en el que el
- 65 convertidor de energía comprende

- una etapa primaria multifásica para intercambiar energía eléctrica entre una fuente de tensión multifásica y un enlace de CC;
- un filtro de entrada dispuesto entre la etapa primaria y los terminales de entrada que conectan el convertidor de energía a la fuente de tensión multifásica;
- 5 • una etapa secundaria multifásica para intercambiar energía eléctrica entre el enlace de CC y fases de una carga multifásica, esta etapa secundaria comprende una pata de puente para cada una de las fases de la carga y una pata de puente adicional para un punto neutro de la carga;
- comprendiendo el filtro de entrada un punto en estrella de filtro de entrada conectado a un punto medio del enlace de CC a través de una capacitancia de conexión (C_{my}).

10 El método comprende las siguientes etapas para controlar una corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) que fluye en el convertidor de energía:

- 15 • un controlador externo que controla la corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) a un valor de referencia (\dot{i}_{gnd}), normalmente cero, generando un valor de referencia (\dot{u}_{my}) para una tensión a través de la capacitancia de conexión (C_{my});
- un controlador interno que controla la tensión (u_{my}) a través de la capacitancia de conexión (C_{my}) a su valor de referencia (\dot{u}_{my}) generando un valor de referencia (\dot{i}_{zs}) para una corriente de secuencia cero que fluye a través de la capacitancia de conexión (C_{my});
- 20 • un controlador de corriente de secuencia cero que controla la corriente de secuencia cero (i_{zs}) a su valor de referencia (\dot{i}_{zs}).

25 En una realización, el convertidor de energía comprende un filtro de salida dispuesto entre la etapa secundaria y los terminales de salida que conectan el convertidor de energía a la carga, incluyendo el punto neutro de la carga, y en el que un punto en estrella del filtro de salida está conectado al punto medio del enlace de CC; comprendiendo el método la etapa de

- 30 • un circuito de acción directa que añade un potencial (U_{Nm}) del punto neutro de la etapa secundaria al valor de referencia generado por el controlador exterior antes de introducirlo como valor de referencia (u_{mi}) al controlador interno.

En una realización, la fuente de tensión es un sistema trifásico y la carga comprende tres conexiones de fase y una conexión de punto neutro a la energía de convertidor.

35 El **convertidor de energía de CA** multifásica, de acuerdo con una realización, comprende

- una etapa primaria multifásica para intercambiar energía eléctrica entre una fuente de tensión multifásica y un enlace de CC;
- 40 • un filtro de entrada dispuesto entre la etapa primaria y los terminales de entrada que conectan el convertidor de energía a la fuente de tensión multifásica;
- una etapa secundaria multifásica para intercambiar energía eléctrica entre el enlace de CC y fases de una carga multifásica, esta etapa secundaria comprende una pata de puente para cada una de las fases de la carga y una pata de puente adicional para un punto neutro de la carga;
- 45 • comprendiendo el filtro de entrada un punto en estrella de filtro de entrada conectado a un punto medio del enlace de CC a través de una capacitancia de conexión (C_{my});
- un filtro de salida dispuesto entre la etapa secundaria y los terminales de salida que conectan el convertidor de energía a la carga, incluido el punto neutro de la carga, y
- en el que un punto en estrella del filtro de salida está conectado al punto medio del enlace de CC.

50 En una realización, el convertidor de energía de CA multifásica, el filtro de salida, incluyendo elementos de filtro para el punto neutro, es un filtro simétrico.

55 En una realización, el convertidor de energía de CA multifásica comprende un controlador para controlar corrientes de bucle de masa, en el que el controlador comprende las siguientes unidades implementadas en hardware y/o software para controlar una corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) que fluye en el convertidor de energía:

- un controlador externo dispuesto para controlar la corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) a un valor de referencia (\dot{i}_{gnd}) generando un valor de referencia (\dot{u}_{mi}) para una tensión a través de la capacitancia de conexión (C_{mi});
- 60 • un controlador interno dispuesto para controlar la tensión (u_{my}) a través de la capacitancia de conexión (C_{my}) a su valor de referencia (\dot{u}_{mi}) generando un valor de referencia (\dot{i}_{zs}) para una corriente de secuencia cero que fluye hacia la capacitancia de conexión (C_{my});
- un controlador de corriente de secuencia cero dispuesto para controlar la corriente de secuencia cero (i_{zs}) a su valor de referencia (\dot{i}_{zs}).

En una realización, el convertidor de energía de CA multifásica comprende un controlador para el potencial (U_{Nm}) en el punto neutro de la etapa secundaria que maximiza el rango de tensión para las otras tres fases de salida.

5 La etapa de salida o etapa secundaria, por ejemplo, un inversor de cuatro patas puede utilizar un esquema de control orientado a la fase, que permite el funcionamiento independiente de cada fase de la fuente de alimentación con cualquier tipo de referencias de tensión y cualquier tipo de carga. El potencial neutro de la etapa de salida U_{Nm} puede ser controlado para el rango máximo de la modulación en caso de carga flotante y controlado a cero para la carga conectada a tierra. El esquema de control del rectificador PWM de entrada considera el control de las tensiones de secuencia cero para evitar la aparición de una corriente de masa del módulo y de las corrientes entre
10 módulos, permitiendo el funcionamiento con cargas conectadas a tierra y la conexión en paralelo de varios módulos de fuente de alimentación de CA.

En una realización, el convertidor de energía de CA de fase múltiple comprende un circuito de acción directa dispuesto para añadir un potencial (U_{Nm}) del punto neutro de la etapa secundaria al valor de referencia generado por el controlador exterior antes de introducirlo como valor de referencia (u_{my}) al controlador interno.
15

En resumen, se presenta un esquema de control para una fuente de alimentación de CA trifásica (o multifásica) de alto rendimiento. La etapa de salida del inversor de cuatro patas utiliza tres patas de puente para generar las tensiones de salida de fase con referencia al potencial de punto neutro, que está definido por la cuarta pata de puente. El inversor se controla mediante un control orientado a la fase para lograr un control preciso de cada fase de salida con tensiones desequilibradas y cualquier tipo de carga. El potencial neutro de la etapa de salida de cuatro se controla para el rango máximo de modulación en caso de carga flotante y controlado a cero para carga conectada a tierra. El esquema de control para la etapa de rectificador de PWM de entrada considera el control de la tensión de secuencia cero para evitar la aparición de corrientes de circulación a través del bucle de masa cuando el punto en estrella de carga está conectado a masa. El control de las corrientes de circulación también permite la conexión en paralelo segura de dos o más fuentes de CA.
20
25

Los resultados de la simulación bajo condiciones equilibradas y desequilibradas demuestran el desempeño de la fuente de CA en términos de control de la tensión de salida y prevención de corrientes de conexión a tierra circulantes.
30

Los ejemplos a continuación y las explicaciones anteriores mencionan sistemas trifásicos, pero se aplican mutatis mutandis a sistemas multifásicos.

35 Otras realizaciones son evidentes a partir de las reivindicaciones de patente dependientes. Las características de las reivindicaciones del método pueden combinarse con características de las reivindicaciones del dispositivo y viceversa.

El objetivo de la invención se explicará con más detalle en el siguiente texto con referencia a ejemplos de realización que se ilustran en los dibujos adjuntos, en los que:
40

Las figuras 1a y 1b juntas muestran la topología de un convertidor multifásico;
Las figuras 2a y 2b juntas muestran elementos de medición y control;
La figura 3 muestra un circuito equivalente de corriente de bucle de masa;
45 La figura 4 muestran dos convertidores conectados en paralelo; y
Las figuras 5-8, trayectorias de tensiones y corrientes para diferentes cargas.

En principio, partes idénticas están provistas de los mismos símbolos de referencia en las figuras.

50 El circuito de energía de un convertidor que funciona como una fuente de CA considerada en este trabajo se muestra en **Figura 1**. El convertidor de energía se basa en la topología de punto neutro (NPC) de tres niveles. En el lado de entrada, un rectificador de fuente de tensión trifásica proporciona tensiones de enlace de CC controladas y corrientes de entrada sinusoidales. Se incluye un filtro de entrada y se supone que el punto neutro de la rejilla está conectado a tierra. El punto en estrella de los condensadores de filtro y está conectado al punto medio del enlace de CC m a través de otro condensador C_{my} , permitiendo el control del potencial de punto medio con respecto a la conexión tierra. El lado de salida tiene cuatro patas con filtros LC que proporcionan tres tensiones de salida controladas en los terminales de fase A , B y C y en la terminal neutra N . Las tensiones de salida se definen con respecto a la terminal de neutro N y se puede controlar de forma independiente. El control de la cuarta etapa se utiliza para maximizar el rango de tensión de salida de las tres fases de salida o para ser cero en caso de cargas conectadas a tierra (suponiendo que la modulación de la etapa de entrada está sin tensión de secuencia cero). La carga puede ser equilibrada o desequilibrada, lineal o no lineal, y con o sin conexión a masa.
55
60

En la figura 2 se muestra una posible realización para el esquema de control para la etapa de salida. Cada fase se controla independientemente usando una estructura en cascada con un bucle de control de corriente interno y un bucle de control de tensión externo, incluyendo opcionalmente bucles de alimentación de las corrientes de fase de carga y tensiones de referencia. La referencia para la fase N se puede calcular para maximizar el rango de tensión
65

de las otras tres fases de salida:

$$u_{Nm}^* = \frac{\min(u_{AN}^*, u_{BN}^*, u_{CN}^*) + \max(u_{AN}^*, u_{BN}^*, u_{CN}^*)}{2}$$

5 En el caso de conexión a tierra de la fase N, la tensión de referencia se pone a cero, es decir, $u_{Nm}^* = 0$.

10 Como se muestra en **Figura 2**, un regulador PI regula la corriente de conexión a tierra i_{gnd} con un valor de referencia igual a cero. La salida de este controlador y un bucle de avance de alimentación de la tensión neutra de salida u_{Nm} genera la tensión de referencia u_{my}^* . El segundo controlador PI regula la tensión del condensador u_{my} y su salida es el valor de referencia para el controlador de corriente de secuencia cero. Este tercer controlador proporciona un control rápido de la corriente de secuencia cero i_{zs} y genera la referencia para la tensión de secuencia cero u_{0m} .

15 En la etapa de entrada, un regulador PI regula la tensión total del enlace de CC u_{CC} y genera la referencia para la amplitud de la corriente de fase de entrada \hat{I} , incluyendo un bucle de avance de avance de la corriente de salida i_{salida} , que puede obtenerse a partir de las variables del controlador de la etapa de salida:

$$i_{salida} = \frac{u_{AN}^* i_{A,salida} + u_{BN}^* i_{B,salida} + u_{CN}^* i_{C,salida}}{u_{CC}}$$

20 Se utiliza un filtro de media móvil para la tensión del enlace de CC u_{CC} y corriente de carga i_{salida} con el fin de evitar distorsiones en las corrientes de entrada debidas a variaciones periódicas de la tensión de enlace de CC generada por el funcionamiento desequilibrado de la etapa de salida, por ejemplo, con una carga monofásica.

25 Para otra explicación del esquema de control para la corriente de conexión a tierra, considere la **Figura 3**: el lado de entrada de la fuente de CA se modela en términos de las componentes de secuencia cero de las tensiones y corrientes del convertidor y del circuito equivalente de modo común del filtro de entrada. La etapa de salida (a la derecha del punto medio m) considera solamente los elementos que afectan al comportamiento de la corriente de conexión a tierra, es decir, la tensión en el punto neutro N, con respecto al punto medio m del enlace de CC y la conexión a tierra de la carga. Cuando se conecta una carga conectada a tierra en los terminales de salida, la tensión de salida del punto neutro u_{Nm} define el potencial del punto medio m con respecto a la conexión de tierra. Por esta razón, la tensión de salida de referencia u_{Nm}^* se pone a cero para el funcionamiento con una carga conectada a tierra. Como se puede observar en la **Figura 2**, la corriente de conexión a tierra puede ser controlada por medio de la tensión u_{my} . La tensión de salida u_{Nm} puede considerarse como una perturbación en el bucle de control. La referencia para la tensión u_{my} puede ser modificado por el componente de corriente de secuencia cero i_{zs} . Esta idea corresponde a la estructura de control en cascada como se muestra en la **Figura 2**.

35 El esquema de control proporciona las siguientes ventajas:

- a) Control independiente de cada fase de salida,
- b) Operación con cualquier tipo de referencia de tensión de salida (no limitada a tensiones trifásicas equilibradas),
- c) Operación con cualquier tipo de carga (equilibrada/no equilibrada, lineal/no lineal, flotante/conexión a tierra),
- d) Prevención de las corrientes de circulación del terreno y de las corrientes circulantes entre módulos.

45 Se introduce un bucle de control para la tensión en el terminal de salida N para:

- e) Maximización del rango de tensión de salida para cargas flotantes,
- f) Prevención de corrientes de circulación de conexión a tierra para cargas conectadas a tierra.

50 El control de la secuencia cero y de las corrientes de circulación permite el funcionamiento seguro de dos o más fuentes de CA.

El control del lado de entrada se puede implementar usando diferentes marcos de referencia para las corrientes y tensiones:

- g) Control de las tres fases (abc),
- h) Coordenadas ortogonales ($\alpha\beta$),
- i) Marco de referencia giratorio (dq0).

60 El ejemplo en la **Figura 2** utiliza coordenadas $\alpha\beta$ para el control de corriente.

La **Figura 4** muestra una conexión en paralelo de dos convertidores o fuentes de CA. Cuando dos o más fuentes de CA están conectadas en paralelo, el esquema de control de cada fuente de CA permanece igual en el lado de

entrada, pero se puede implementar un esquema maestro-esclavo para las etapas de salida. Esto significa que solo una fuente de CA realiza el control de las tensiones de salida (maestro) y proporciona las referencias actuales para las otras fuentes de CA (esclavos). La Figura 4 muestra las referencias de tensión de salida y corriente que pasan del módulo maestro M al módulo esclavo S.

5 Las **Figuras 5-6** muestran trayectorias simuladas de tensiones y corrientes para cargas desequilibradas y tensiones desequilibradas. El punto en estrella de la carga trifásica se conecta a N. En cada figura, las trayectorias son, de arriba a abajo,

- 10
- las tensiones de salida con referencia al punto neutro (U_{AN}, U_{BN}, U_{CN})
 - las tensiones de salida con referencia al punto medio ($U_{Am}, U_{Bm}, U_{Cm}, U_{Nm}$)
 - las corrientes de salida (i_A, i_B, i_C, i_N)

15 La **Figura 5** muestra una carga desequilibrada. La carga desequilibrada presenta una resistencia 200 % mayor en la fase C. La **Figura 6** muestra una carga no lineal con tensiones no equilibradas (un rectificador de puente de diodo). Además, cada fase se controla para funcionar como una fuente independiente: fase A con una referencia sinusoidal de 50 Hz, fase B con referencia sinusoidal de 100 Hz y fase C como fuente de CC.

20 Las **Figuras 7-8** muestran el efecto del control de corriente de conexión a tierra: en ambos casos, el convertidor funciona con tensiones de salida trifásicas equilibradas y carga desequilibrada. La carga desequilibrada presenta una resistencia 200 % mayor en la fase C. En cada figura, las trayectorias son, de arriba a abajo,

- 25
- corrientes de entrada (i_a, i_b, i_c)
 - corriente de conexión a tierra (i_{qnd})
 - tensión medio ($u_{m, PE}$)

La **Figura 7** muestra las trayectorias sin control de corriente de conexión a tierra.

La **Figura 8** muestra las trayectorias con control de corriente de conexión a tierra.

30 Aunque la invención se ha descrito en las presentes realizaciones, se entiende claramente que la invención no se limita a la misma, sino que puede ser de otra manera incorporada de manera diversa y practicada dentro del alcance de las reivindicaciones.

REFERENCIAS

- 35
- [1] N. Kim, S.-Y. Kim, H.-G. Lee, C. Hwang, G.-H. Kim, H.-R. Seo, M. Park y I.-K. Yu, "Design of a grid-simulator for a transient analysis of grid-connected renewable energy system", en la Conferencia Internacional sobre Máquinas y Sistemas Eléctricos (ICEMS), Oct. 2010, páginas 633 - 637.
- 40 [2] R. Lohde y F. Fuchs, "Laboratory type PWM grid emulator for generating disturbed voltages for testing grid connected devices", en la 13ª Conferencia Europea sobre Electrónica de Potencia y Aplicaciones (EPE '09), Sept. 2009, páginas 1-9.
- [3] O. Craciun, A. Florescu, S. Bacha, I. Munteanu, y A. Bratcu, "Hardware-in-the-loop testing of PV control systems using RT-Labsimulator" en la 14ª Conferencia Internacional de Electrónica de Potencia y Control de Movimiento EPE/PEMC), Sept. 2010, páginas S2-1-S-2-6.
- 45 [4] R. Zhang, D. Boroyevich, V. Prasad, H.-C. Mao, F. Lee y S. Dubovsky, "A three-phase inverter with a neutral leg with space vector modulation", en Procedimientos de la 12ª Conferencia y Exposición de Electrónica de Energía (APEC'97), vol. 2, Feb. 1997, páginas 857 - 863.
- [5] S. El-Barbari y W. Hofmann, "Control of a 4 leg inverter for standalone photovoltaic systems", en Procedimientos de la 4ª Conferencia Internacional de la IEEE de Electrónica de Energía y Sistemas de
- 50 Accionamiento, vol. 1, Oct. 2001, páginas 348 - 354.
- [6] M. Ryan, R. De Doncker y R. Lorenz, "Decoupled control of a four-leg inverter via a new 4x4 transformation matrix", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 16, n.º 5, páginas 694 - 701, Sept. 2001.
- [7] M. Ryan, " Analysis, modeling and control of three-phase, four-wire sine wave inverter systems", Ph.D. disertación, Universidad de Wisconsin - Madison, 1997.
- 55 [8] J H. Kim y S.-K. Sul, "A carrier-based PWM method for three-phase four-leg voltage source converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, n.º 1, páginas 66-75, ene. 2004.
- [9] J. Ai-juan, L. Hang-tian y L. Shao-long, "A new matrix type three-phase four-wire power electronic transformer", en Procedimientos de la 37ª Conferencia de Especialistas en Electrónica de la IEEE (PESC '06), Junio de 2006, páginas 1 6.
- 60 [10] R. Zhang, V. Prasad, D. Boroyevich y F. Lee, "Three-dimensional space vector modulation for four-leg voltage-source converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 17, n.º 3, páginas 314-326, mayo de 2002.
- [11] R. Nasiri y A. Radan, "Pole-placement control strategy for 4-leg voltage-source inverters", en la 1ª Conferencia de Tecnologías de Sistemas de Transmisión Electrónica de Potencia (PEDSTC), febrero de 2010, páginas 74-79.
- 65

- [12] Z. Ye, D. Boroyevich, J.-Y. Choi y F. Lee, "Control of circulating current in two parallel three-phase boost rectifiers", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 17, n.º 5, páginas 609-615, Sept. 2002.
- [13] C.-T. Pan y Y.-H. Liao, "Modeling and coordinate control of circulating currents in parallel three-phase boost rectifiers", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, n.º 2, páginas 825-838, abril de 2007.
- 5 [14] -, "Modeling and control of circulating currents for parallel three-phase boost rectifiers with different load sharing", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, n.º 7, páginas 2776-2785, julio de 2008.
- [15] M. Baumann y J. Kolar, "Parallel connection of two three-phase three-switch buck-type unity-power-factor rectifier systems with dc-link current balancing", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, n.º 6, páginas 3042 - 3053, dic. 2007.
- 10 [16] H. Shan, Y. Zhang, M. Yu, Y. Kang, Y. Liu, M. Yin y H. Li, "The novel strategy of restraining circulating currents in distributed logical-control on parallel inverter system", en Procedimientos de la Conferencia Internacional sobre Máquinas y Sistemas Eléctricos (ICEMS 2009), noviembre de 2009, páginas 1 - 5.
- [17] S. Ji, Y. Yong y Q. Chunqing, "Control of circulating current for direct parallel grid-connected inverters in photovoltaic power generation", en Actas de la Conferencia Internacional sobre Mecatrónica y Automatización (ICMA 2009), agosto de 2009, páginas 3805 -3810.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un **método para controlar** un convertidor de energía de CA multifásica, en el que el convertidor de energía comprende

- 5 • una etapa primaria multifásica para intercambiar energía eléctrica entre una fuente de tensión multifásica y un enlace de CC ($C_{CC,p}$, $C_{CC,n}$);
- un filtro de entrada ($L_{dm,1}$, $C_{dm,1}$) dispuesto entre la etapa primaria y los terminales de entrada (a, b, c) que conectan el convertidor de energía a la fuente de tensión multifásica;
- 10 • una etapa secundaria multifásica para el intercambio de energía eléctrica entre el enlace de CC y las fases de una carga multifásica, y esta etapa secundaria comprende una pata de puente para cada una de las fases de la carga y una pata de puente adicional para un punto neutro (N) de la carga;
- el filtro de entrada ($L_{dm,1}$, $C_{dm,1}$) que comprende un punto en estrella de filtro de entrada (y) conectado a un punto medio (m) del enlace de CC a través de una capacitancia de conexión (C_{my});

15 en donde el método comprende las siguientes etapas para controlar una corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) que fluye en el convertidor de energía:

- 20 • un controlador externo que controla la corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) a un valor de referencia (i_{gnd}^*) generando un valor de referencia (u_{my}) para una tensión a través de la capacitancia de conexión (C_{my});
- un controlador interno que controla la tensión (u_{my}) a través de la capacitancia de conexión (C_{my}) a su valor de referencia (u_{my}) generando un valor de referencia (i_{zs}) para una corriente de secuencia cero que fluye a través de la capacitancia de conexión (C_{my});
- 25 • un controlador de corriente de secuencia cero que controla la corriente de secuencia cero (i_{zs}) a su valor de referencia (i_{zs}^*).

2. El método de la reivindicación 1, en el que el convertidor de energía comprende un filtro de salida ($L_{DM,1}$, $C_{DM,1}$, $L_{DM,2}$, $C_{DM,2}$) dispuesto entre la etapa secundaria y los terminales de salida (A , B , C) que conectan el convertidor de energía a la carga, incluido el punto neutro (N) de la carga, y en donde un punto en estrella del filtro de salida está conectado al punto medio (m) del enlace de CC; comprendiendo el método la etapa de

- 35 • un circuito de acción directa que añade un potencial (U_{Nm}) del punto neutro de la etapa secundaria al valor de referencia generado por el controlador exterior antes de introducirlo como valor de referencia (u_{my}) al controlador interno.

3. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que la fuente de tensión es un sistema trifásico y la carga comprende tres conexiones de fase y una conexión de punto neutro (N) a la etapa secundaria del convertidor de energía.

4. Un **convertidor de energía de CA multifásica**, en el que el convertidor de energía comprende

- 45 • una etapa primaria multifásica para intercambiar energía eléctrica entre una fuente de tensión multifásica y un enlace de CC ($C_{CC,p}$, $C_{CC,n}$);
- un filtro de entrada ($L_{dm,1}$, $C_{dm,1}$) dispuesto entre la etapa primaria y los terminales de entrada que conectan el convertidor de energía a la fuente de tensión multifásica;
- una etapa secundaria multifásica para el intercambio de energía eléctrica entre el enlace de CC ($C_{CC,p}$, $C_{CC,n}$) y fases de una carga multifásica, comprendiendo esta etapa secundaria una pata de puente para cada una de las fases de la carga y una pata de puente adicional para un punto neutro (N) de la carga;
- 50 • el filtro de entrada ($L_{dm,1}$, $C_{dm,1}$) que comprende un punto en estrella de filtro de entrada (y);
- un filtro de salida dispuesto entre la etapa secundaria y los terminales de salida que conectan el convertidor de energía a la carga, y
- en donde un punto en estrella del filtro de salida está conectado al punto medio (m) del enlace de CC,

55 **caracterizado por que** el punto en estrella del filtro de entrada (y) está conectado al punto medio (m) del enlace de CC a través de una capacitancia de conexión (C_{my}) y **por que** el convertidor de energía de CA de fase múltiple comprende además un controlador para controlar corrientes de bucle de masa, en donde el controlador comprende las siguientes unidades implementadas en hardware y/o software para controlar una corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) que fluye en el convertidor de energía:

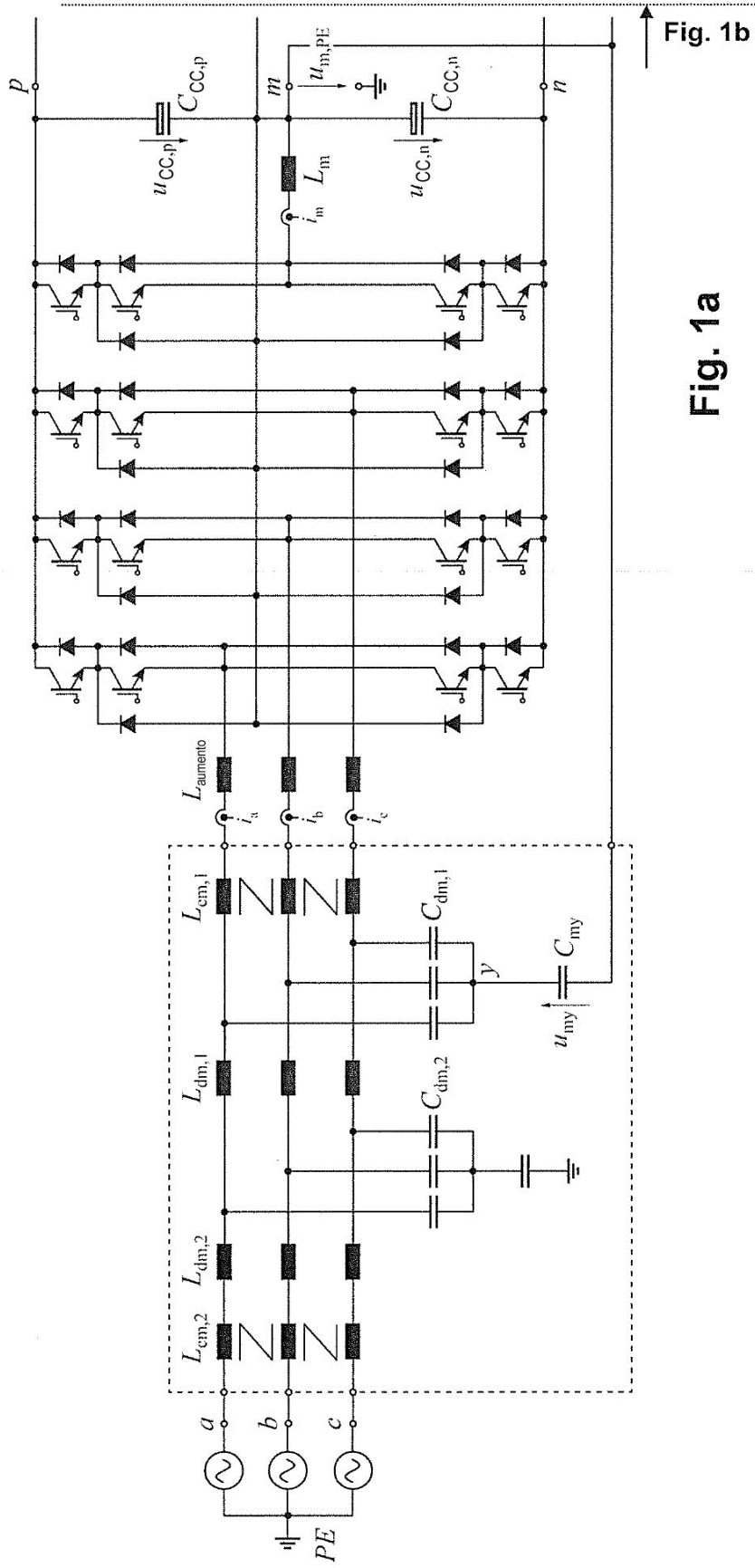
- 60 • un controlador externo dispuesto para controlar la corriente de conexión a tierra (i_{gnd}) a un valor de referencia (i_{gnd}^*) generando un valor de referencia (u_{my}) para una tensión a través de la capacitancia de conexión (C_{my});
- un controlador interno dispuesto para controlar la tensión (u_{my}) a través de la capacitancia de conexión (C_{my}) a su valor de referencia (u_{my}) generando un valor de referencia (i_{zs}) para una corriente de secuencia cero que fluye hacia la capacitancia de conexión (C_{my});
- 65 • un controlador de corriente de secuencia cero dispuesto para controlar la corriente de secuencia cero (i_{zs}) a su valor de referencia (i_{zs}^*).

5. El convertidor de energía de CA multifásica de la reivindicación 4, en el que el filtro de salida, que incluye elementos de filtro para el punto neutro, es un filtro simétrico.

5 6. El convertidor de energía de CA multifásica de la reivindicación 4, que comprende un controlador para el potencial (U_{Nm}) en el punto neutro de la etapa secundaria que maximiza el rango de tensión para las otras tres fases de salida.

7. El convertidor de energía de CA multifásica de las reivindicaciones 4 o 6, que comprende un circuito de acción directa dispuesto para añadir un potencial (U_{Nm}) del punto neutro de la etapa secundaria al valor de referencia generado por el controlador exterior antes de introducirlo como valor de referencia (u_{my}^*) al controlador interno.

10



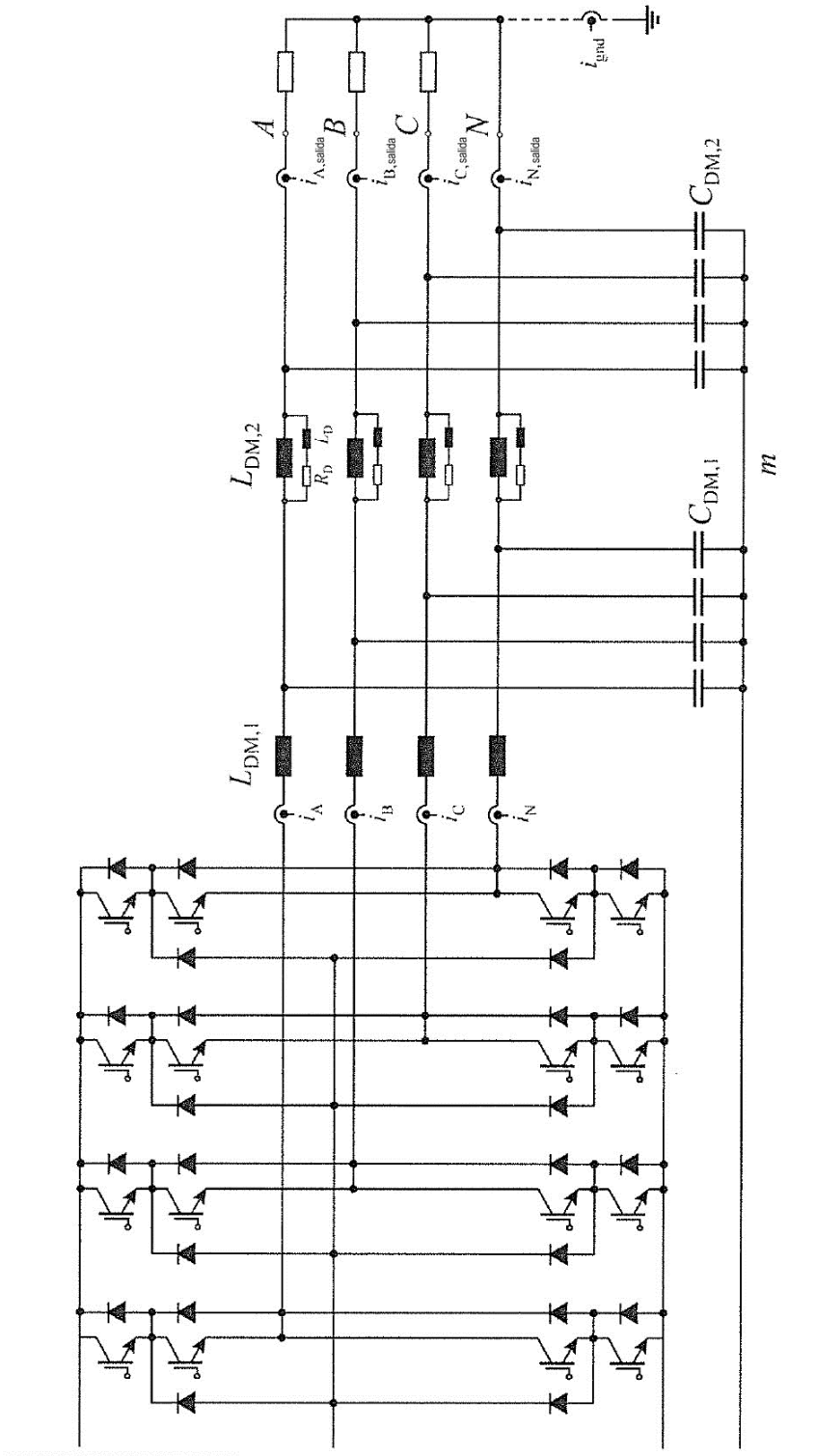


Fig. 1a



Fig. 1b

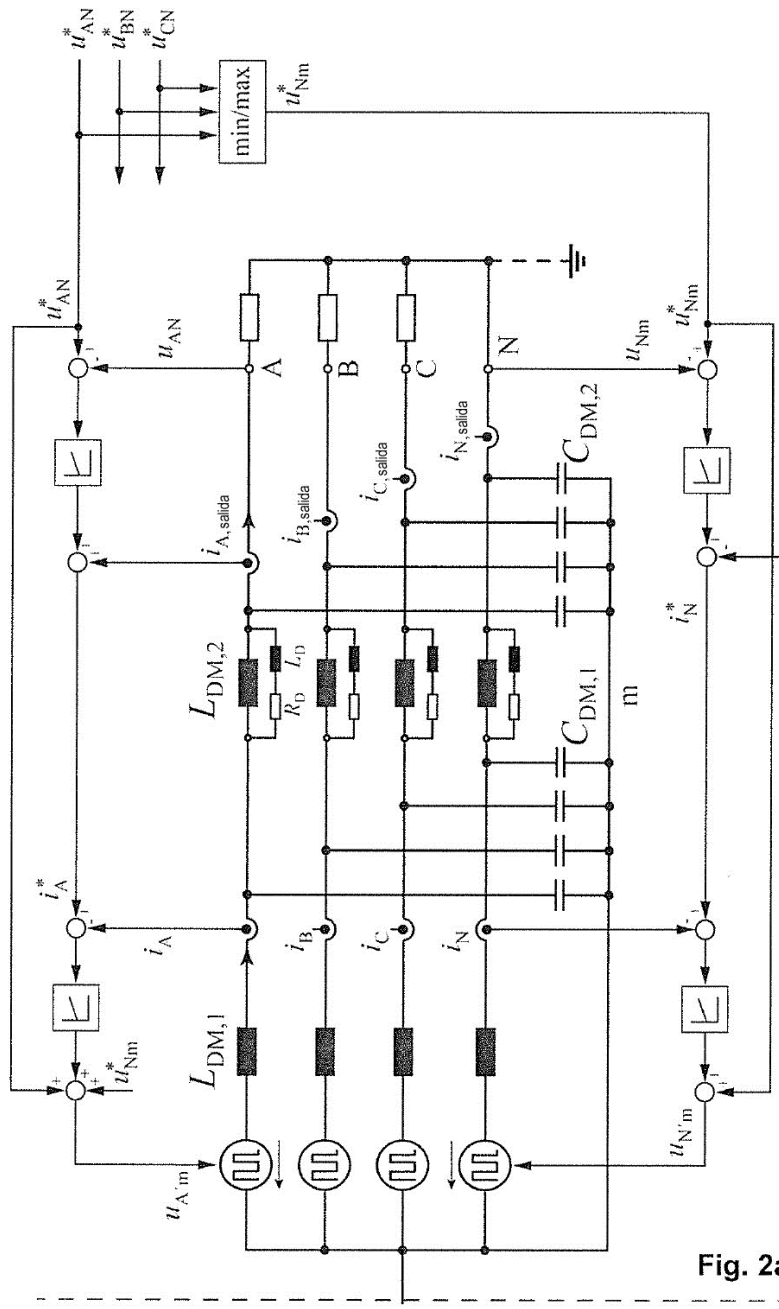


Fig. 2a

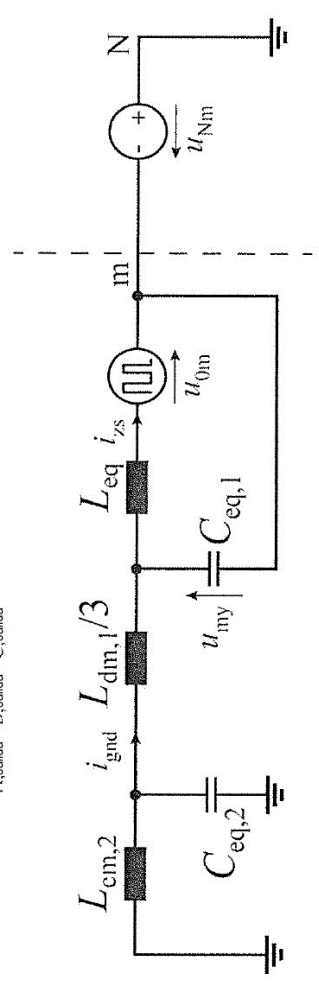


Fig. 2b

Fig. 3

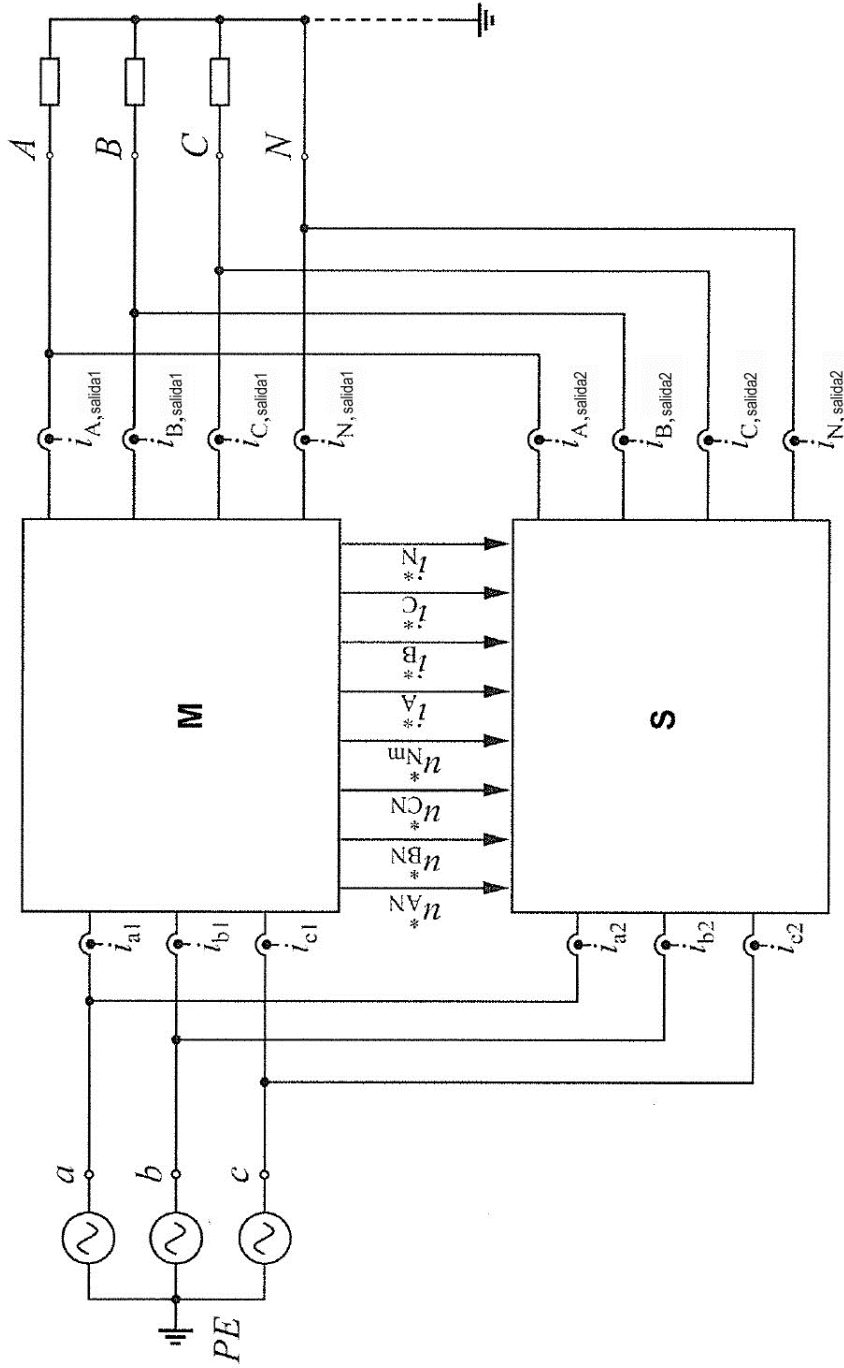


Fig. 4

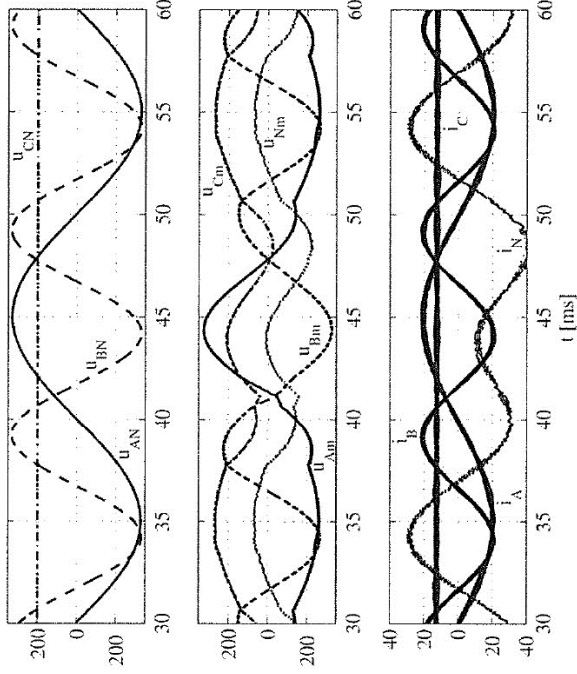


Fig. 5

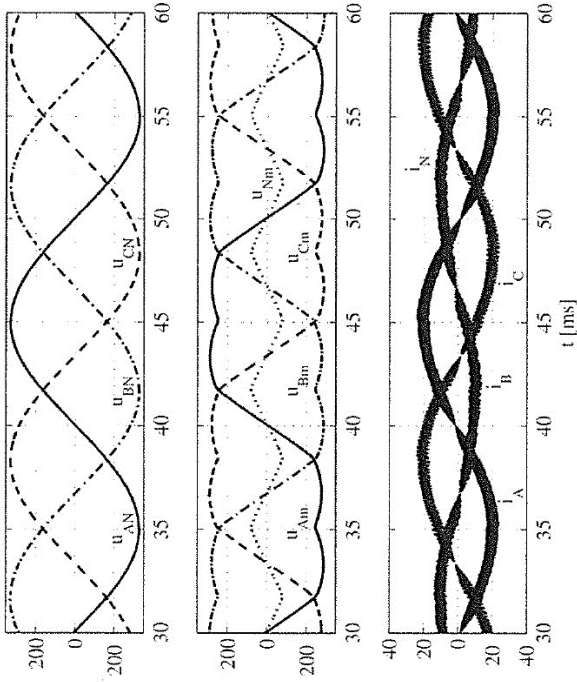


Fig. 6

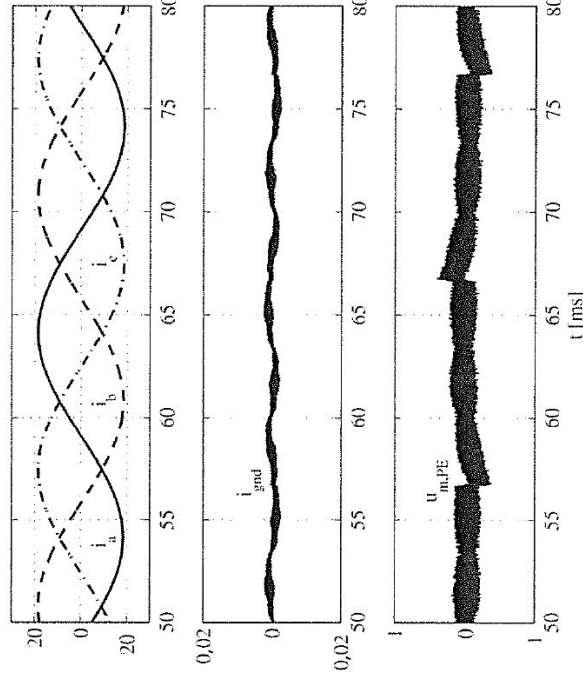


Fig. 7

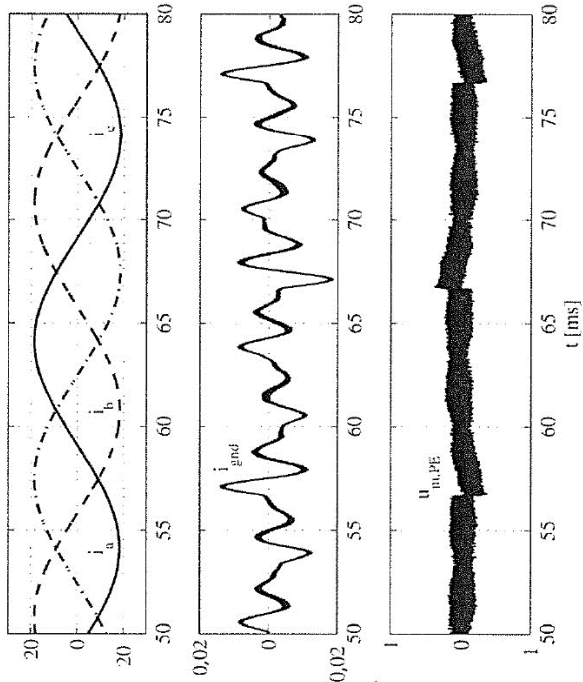


Fig. 8